

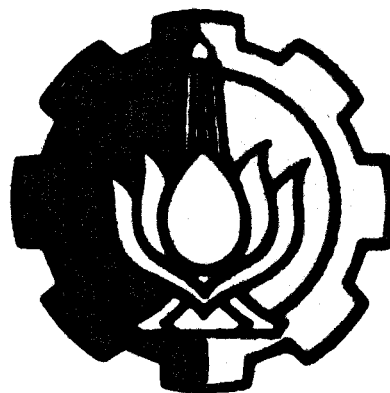
3100097009213

Anotasi

**TUGAS AKHIR**  
**KONVERSI ENERGI**

**PENGARUH PEMOTONGAN DIAMETER LUAR  
IMPELLER POMPA SENTRIFUGAL  
TERHADAP UNJUK KERJANYA**

RSM  
621.67  
Har  
p-1  
1996



Disusun Oleh :

*Hariyadi*

NRP : 2193 030 021

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1996**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	12 DEC 1996
Terima Dari	H
Agenda Prp.	6628

**TUGAS AKHIR**  
**KONVERSI ENERGI**

**PENGARUH PEMOTONGAN DIAMETER LUAR  
IMPELLER POMPA SENTRIFUGAL  
TERHADAP UNJUK KERJANYA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk  
Memenuhi Persyaratan Lulus  
Diploma III**

**Program Studi D-3 Tenkin Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui :**

**Dosen pembimbing Tugas Akhir**

  
**(Ir. Joko Sarsetyanto)**  
**NIP : 131 651 247**

## ABSTRAKSI

*Ruang lingkup penggunaan pompa sentrifugal sangat luas dengan head dan kapasitas yang bervariasi. Pompa sentrifugal yang dibuat oleh pabrik mampu menghasilkan unjuk kerja tertentu. Jika diinginkan perubahan unjuk kerja, perlu adanya pengaturan katup, putaran dan perubahan diameter luar impeller pompa sentrifugal.*

*Penelitian ini akan mempelajari pengaruh perubahan diameter luar impeller terhadap unjuk kerja yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal. Impeller pompa sentrifugal yang digunakan adalah kondisi standart, impeller dipotong 4 mm, 8 mm, dan 12 mm. Pengujian dilakukan pada tiap-tiap kondisi pemotongan untuk dianalisa.*

*Berdasar hasil penelitian didapat bahwa dengan pemotongan impeller akan memperbesar luas laluan antar sudu, merubah sudut masuk, dan akan meningkatkan kerugian shock. Sehingga akan berakibat turunnya efisiensi pompa sentrifugal dan akan merubah titik kerja pompa.*

**Firman Allah :**

" Seandainya semua pohon-pohonan di bumi dijadikan pena dan lautan menjadi tintanya, sesudah kering ditambah lagi dengan tujuh lautan, semuanya akan kering, namun tak akan habis-habisnya Kalam Allah dituliskan. Sesungguhnya Allah Maha Kuasa lagi Maha Bijaksana"  
( Q.S : Luqman, 27 )

**Abu Musa r.a. Berkata : Bersabda nabi S.A.W :**

" Perumpamaan petunjuk dan ilmu yang diberikan oleh Allah kepada saya bagaikan hujan yang turun ke tanah, maka sebagian ada tanah yang subur ( baik ) dapat menumbuhkan tumbuh-tumbuhan serta rumput yang banyak sekali. Dan ada pula tanah yang keras menahan air, sehingga berguna untuk minuman dan penyiram kebun tanaman, ada beberapa tanah hanya keras dan kering tidak dapat menahan air dan tidak pula menumbuhkan tumbuh-tumbuhan. Demikianlah contoh orang yang pandai didalam agama Allah dan mempergunakan apa yang diberikan Allah kepadaku lalu mengajar, dan perumpamaan orang yang tidak dapat menerima petunjuk Allah yang telah ditugaskan kepadaku " ( H.R Bukhori Muslim )

### **KUPERSEMBAHKAN BUAT**

1. Ibu dan Bapak tercinta.
2. Keponakanku Adik Raka Satria Perdana  
Hendra Dinata, semoga cepat besar dan  
jangan nakal.
3. Adikku Tri wahyudi.

## KATA PENGANTAR

Sebuah evaluasi sebelum mahasiswa diterjunkan ke masyarakat untuk menyumbangkan ilmu, ketrampilan, serta tenaga dalam proses pembangunan, maka mahasiswa Program Studi D-3 Teknik Mesin diwajibkan untuk membuat tugas akhir.

Tugas akhir ini dibebankan kepada mahasiswa setelah mahasiswa berhasil menyelesaikan tugas menggambar teknik dan tugas perencanaan elemen mesin. Penyusunan tugas akhir ini dimaksudkan untuk menguji kemampuan mahasiswa dalam menyerap ilmu selama di bangku kuliah dan kepekaan mahasiswa terhadap tuntutan masyarakat akan jasa teknologi untuk menghasilkan produk-produk industri. Kemampuan mahasiswa dalam merealisasikan tuntutan tersebut diharapkan dapat dituangkan dalam tugas akhir ini.

Sebuah karya sebenarnya sulit untuk dikatakan sebagai usaha satu orang, oleh karena itu penyusun menyampaikan terimakasih kepada :

1. Ibu dan Bapak yang telah memberi semangat dan do'a sehingga penulis berhasil dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir Joko Sarsetyanto selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir.
3. Saudara Supriyadi yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.
4. Kak Yuni dan Dhik Tri yang telah memberi dorongan dan semangat.
5. Saudara Norman Shaleh, Ari, Iwan, Irfan, Adi, PJ, Dzurro, serta semua pihak yang telah memberi semangat dalam penyelesaian tugas akhir.

Semoga amal baiknya mendapat imbalan pahala dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwasanya penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, karena kesempurnaan hanya milik Allah semata. Namun demikian semoga tugas akhir ini dapat menambah pengetahuan bagi pembaca dengan harapan akan ada pandangan dan saran perbaikan untuk masa mendatang.

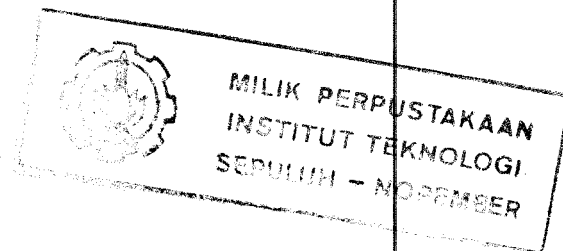
Akhirnya dengan mengucapkan puji syukur alhamdulillah kehadirat Allah SWT atas terselesainya tugas akhir ini, serta semoga Allah SWT selalu memberikan rahmat-Nya kepada kita semua. Aamiin !.

Surabaya, 8 Oktober 1996

Penyusun

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Abstraksi	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Lampiran	xi
Daftar Simbol	xiii



### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pandangan Umum	2
1.2.1 Klasifikasi Pompa Sentrifugal	3
1.2.2 Keuntungan Pompa Sentrifugal	4
1.3 Pengoperasian Pompa Sentrifugal	5
1.3.1 Kurva Head - Kapasitas Sistem	5
1.3.2 Pengaturan Kapasitas	7
1.4 Pembatasan Masalah	10
1.5 Metodologi Penelitian	11



## BAB II DASAR TEORI

2.1 Persamaan Konservasi Energi (Kontinuitas)	13
2.2 Hukum Kedua Newton	15
2.3 Persamaan Moment of Momentum	16
2.4 Persamaan Bernoulli	19
2.5 Hukum Pertama Termodinamika	20

## BAB III TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Head Yang Dihasilkan Impeller Pompa Sentrifugal	26
3.2 Parameter Yang Berpengaruh Terhadap Impeller	29
3.2.1 Pengaruh Perubahan Diameter	29
3.2.2 Pengaruh Perubahan Sudut Luar ( $\beta_2$ ) Pada Head Yang dihasilkan	31

## BAB IV KONSTRUKSI DAN INSTALASI POMPA SENTRIFUGAL

4.1 Konstruksi Pompa Sentrifugal	33
4.2 Instalasi Pompa Sentrifugal	39

## BAB V FENOMENA ALIRAN DALAM IMPELLER POMPA SENTRIFUGAL

5.1 Sifat-Sifat Cairan	43
5.1.1 Massa Jenis dan Gravitasi Spesifik	43
5.1.2 Kompresibilitas dan Viskositas	43

5.1.3 Ekspansi Thermis	44
5.1.4 Daya Larut Gas Dalam Cairan	44
5.2 Fenomena-Fenomena Aliran	44
5.2.1 Turbulensi	45
5.2.2 Friction	45
5.2.3 Prerotation Fluida	45
5.2.4 Circulatory Hidrolis	46
5.2.5 Kerugian Hidrolis	47
5.2.6 Kerugian Volumetris	47
5.2.7 Kerugian Mekanis	47
5.2.8 Kerugian Gesekan Piringan	48
<b>BAB VI UNJUK KERJA POMPA SENTRIFUGAL</b>	
6.1 Karakteristik Instalasi	49
6.1.1 Karakteristik Pipa	49
6.1.2 Pressure Head	52
6.1.3 Static Head	52
6.1.4 Velocity Head	52
6.1.5 Head Loss	52
6.1.6 Major Losses	53
6.1.7 Minor Losses	54

6.2 Karakteristik Pompa Sentrifugal	57
6.2.1 Karakteristik Utama	57
6.2.2 Karakteristik Kerja	58
6.2.3 Karakteristik Umum	63
6.3 Perhitungan Kapasitas ( Q )	64
6.4 Daya Motor Penggerak Pompa ( BHP )	67
6.5 Daya Motor ( Ni )	68
6.6 Water Horse Power	68
6.7 Efisiensi Pompa	69
 BAB VII PERHITUNGAN UNJUK KERJA POMPA	
7.1 Perhitungan Kondisi Ideal	70
7.2 Perhitungan Kondisi Aktual	78
7.2.1 Perhitungan Head Pompa Sentrifugal	78
7.2.2 Perhitungan Daya Motor ( Ni )	84
7.2.3 Perhitungan Brake Horse Power ( BHP )	84
7.2.4 Perhitungan Efisiensi Pompa	84
 BAB VIII ANALISA UNJUK KERJA POMPA SENTRIFUGAL	
8.1 Analisa Kondisi Ideal	85
8.2 Analisa Kondisi Aktual	86
 BAB IX KESIMPULAN DAN SARAN	89

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

Tabel 1. Ekivalen Dimensional	1
Tabel 2. Panjang Ekivalen	2
Tabel 3. Pembesaran dan Pengecilan Penampang	3
Tabel 4. Friction Faktor	4
Tabel 5. Relative Roughness	5
Tabel 6. Viskositas Kinematik	6
Tabel 7. Viskositas Absolut	7
Tabel 8. Coeffisient for Triangular Weirs	8

### LAMPIRAN B

Tabel 9. Data Penelitian Kondisi Standart	9
Tabel 10. Data Penelitian Kondisi 1	25
Tabel 11. Data Penelitian Kondisi 2	40
Tabel 12. Data Penelitian Kondisi 3	51
Tabel 13. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi Standart	61
Tabel 14. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi 1	63
Tabel 15. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi 2	65
Tabel 16. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi 3	67
Tabel 17. Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Standart	69
Tabel 18. Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Kondisi 1	70
Tabel 19. Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Kondisi 2	71

Tabel 20. Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Kondisi 3	72
Tabel 21. Dimensi Hasil Pemotongan Impeller	73
<b>LAMPIRAN C</b>	
Gambar 1. Grafik Kapasitas - Head Ideal	74
Gambar 2. Grafik Kapasitas - Head	75
Gambar 3. Grafik Kapasitas - WHP	76
Gambar 4. Grafik Kapasitas - BHP	77
Gambar 5. Grafik Kapasitas - Efisiensi	78
Gambar 6. Pengukuran Impeller Kondisi Standart	79
Gambar 7. Pengukuran Impeller Kondisi 1	80
Gambar 8. Pengukuran Impeller Kondisi 2	81
Gambar 9. Pengukuran Impeller Kondisi 3	82
Gambar 10. Photo Instalasi Pompa Sentrifugal	83
Gambar 11. Instalasi Pompa Sentrifugal	84
Gambar 12. Impeller Pompa Sentrifugal Yang Digunakan	85
Gambar 13. Pembangkitan Head Teoritis	86
Gambar 14. Gambar Pompa Sentrifugal dan Data Jenis Impeller yang Digunakan dalam penelitian	87

## DAFTAR SIMBOL

a	: percepatan
b	: lebar saluran sudu
f	: friction faktor
g	: percepatan gravitasi
k	: koefisien roughness
m	: massa
n	: kecepatan putar
ns	: kecepatan putar spesifik
P	: tekanan
r	: jari-jari impeller
u	: kecepatan keliling
w	: kecepatan relatif
z	: ketinggian diatas datum
A	: luas laluan impeller
C	: kecepatan absolut
Cd	: koefisien for triangular weir
E	: energi
F	: gaya
H	: total head
Ht	: head teoritis
Hh	: head loss hidrolis
Hsh	: head loss shock
Hlt	: head loss total
K <sub>2cu</sub>	: faktor sirkulasi
L	: panjang lengan
Le/D	: panjang ekvivalent
M	: momen, torsi
P	: daya
Q	: kapasitas
Qn	: kapasitas normal
Re	: angka reynold
T	: torsi
V	: volume
W	: kerja
$\alpha, \beta$	: sudut-sudut impeller

$\gamma$	: berat spesifik
$\eta$	: efisiensi
$\mu$	: viskositas absolut
$\nu$	: viskositas kinematik
$\rho$	: densitas
$\sigma$	: tebal sudu
$\omega$	kecepatan sudut



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Pompa sentrifugal dan instalasi perpipaan merupakan dua buah sistem yang bekerja sama dan saling mempengaruhi. Karakteristik pada banyak hal terdiri dari bagian statis dan dinamik. Pada bagian statis terbentuk kerugian akibat perbedaan ketinggian dan tekanan. Sedang bagian dinamik merupakan kerugian akibat adanya gesekan dalam instalasi yang besarnya sebanding dengan kuadrat aliran.

Karakteristik instalasi dapat diubah melalui katup yang dipasang pada pipa saluran. Dengan meningkatnya kerugian arus aliran fluida, maka akan mengakibatkan perubahan karakteristik instalasi, sehingga akan didapatkan titik kerja yang baru pada karakteristik pompa. Pengaturan dengan sistem katup ini sangat murah, tetapi karena hubungannya dengan cara memperbesar kerugian arus aliran fluida, maka akibatnya daya penggerak poros lebih tinggi.

Jika karakteristik instalasi dengan karakteristik pompa belum ada kecocokan, maka perlu pengaturan pompa. Salah satu cara mencocokkan adalah merubah diameter luar sudu impeller. Pengaturan dengan cara ini merupakan pengaturan yang sangat ekonomis untuk mendapatkan titik kerja yang baik, bila titik kerja yang sesungguhnya agak menyimpang dari perhitungan.

## 1.2 PANDANGAN UMUM

Pompa sentrifugal merupakan mesin yang terdiri dari sebuah impeler atau lebih yang dilengkapi dengan sudu-sudu. Impeler tersebut dipasang pada sebuah poros yang dihubungkan oleh motor.

Putaran poros dari motor akan diteruskan ke impeler. Pada saat impeler berputar, cairan yang berada diantara laluan sudu impeler akan berputar dengan kecepatan keliling. Perputaran cairan tersebut akan menimbulkan gaya sentrifugal yang arahnya keluar secara radial. Gaya tersebut dapat menimbulkan tekanan yang kuat pada lingkaran luar impeler, sehingga cairan akan mengalir dari lingkaran dalam melalui laluan antara sudu dan impeler ke lingkaran luar impeler dengan kecepatan relatif. Cairan yang keluar mempunyai energi yang lebih besar dari pada saat cairan masuk.

Bagian-bagian utama dari pompa sentrifugal adalah stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang tidak bergerak ( casing, stuffing box ). Sedang rotor merupakan bagian yang ikut berputar ( poros, impeler, sudu ).

Energi yang diberikan pada pompa dapat diperoleh secara manual atau dengan pesawat penggerak ( motor bakar, motor listrik ). Pada umumnya pompa sentrifugal dioperasikan dengan pesawat penggerak. Pemilihan jenis pesawat penggerak tergantung dimana pompa tersebut dioperasikan. Pompa sentrifugal yang pengoperasiannya berpindah-pindah biasanya menggunakan penggerak motor bakar. Misalnya pompa untuk irigasi. Sedang pompa sentrifugal yang tidak berpindah-pindah biasanya menggunakan motor listrik sebagai penggerak mula.

Dalam penelitian ini pesawat penggerak yang digunakan adalah motor listrik.

### 1.2.1 Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Menurut M Khetagurov, pompa sentrifugal dibagi dalam:

1. Menurut kapasitasnya

- Pompa berkapasitas rendah  $< 20 \text{ m}^3 / \text{h}$
- Pompa berkapasitas menengah  $20 - 60 \text{ m}^3 / \text{h}$
- Pompa berkapasitas tinggi  $> 60 \text{ m}^3 / \text{h}$

2. Menurut tekanan yang dihasilkan

- Pompa bertekanan rendah  $< 5 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$
- Pompa bertekanan menengah  $5 - 50 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$
- Pompa bertekanan tinggi  $> 50 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$

3. Berdasar kecepatan spesifik ( $n_{sl}$ )

- Pompa kecepatan rendah  $n_{sl} = 40 - 80$
- Pompa kecepatan menengah  $n_{sl} = 80 - 150$
- Pompa kecepatan tinggi  $n_{sl} = 150 - 300$
- Pompa aliran campur  $n_{sl} = 300 - 600$

4. Berdasar jumlah impeler dan jumlah tingkat

- Single impeller pumps
- Multi stage pumps
- Multi impeller pumps
- Multi impeller and multi stage pumps.

5. Berdasar lubang suction

- Single admission

- Double admission
- 6. Berdasar perencanaan casing
  - Single casing
  - Sectional pumps
- 7. Berdasar posisi sumbu impeler
  - Vertical shaft pumps
  - Horizontal shaft pumps
- 8. Berdasar jenis fluida yang dipompakan
  - Pompa air
  - pompa minyak
- 9. Berdasar suction lift capacity
  - Self priming pumps
  - Non priming pumps.

### **1.2.2 Keuntungan Pompa Sentrifugal.**

Penggunaan pompa sentrifugal sangat luas, karena pompa ini mempunyai beberapa keuntungan dibanding pompa jenis lain.

Di antara kelebihanya adalah:

- Menghasilkan aliran yang lebih kontinyu.
- Umumnya mempunyai speed yang lebih tinggi, sehingga langsung dapat dikopel dengan motor penggerak.
- Untuk Head dan Kapasitas yang sama mempunyai dimensi yang lebih kecil dan ringan.

- Membutuhkan ruang pengoperasian yang sedikit.
- Dapat digunakan untuk memompakan cairan yang mempunyai viskositas bervariasi.
- Dapat digunakan untuk memompa air yang kotor.
- Perawatan dan pengoperasian yang mudah.
- Kemungkinan terjadinya gesekan sangat kecil.
- Mempunyai konstruksi yang sederhana.
- Pengaturannya mudah.
- Mudah didapatkan di pasaran.

### **1.3. PENGOPERASIAN POMPA SENTRIFUGAL**

Yang dimaksud pengoperasian disini adalah langkah-langkah untuk mendapatkan hubungan head dan kapasitas yang sesuai dengan keperluan. Selain itu, juga dijelaskan pengaruh pengoperasian pompa sentrifugal dengan kapasitas yang tidak normal.

#### **1.3.1 Kurva Head - Kapasitas Pompa dan Sistem**

Pembuatan kurva dari pompa sentrifugal akan dijelaskan dalam bab selanjutnya. Dimana kurva tersebut menyatakan kemampuan pompa untuk menentukan head ( $H$ ) yang besarnya tergantung pada kapasitas ( $Q$ ). Dalam pengoperasiannya pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh sistem perpipaan.

Besarnya head sistem ( head instalasi), yaitu head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem perpipaan, adalah sama dengan head untuk

mengatasi kerugian gesek ditambah dengan head statis sistem. Head statis ini adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair dibagian isap dan dibagian keluar.

Titik perpotongan antara kurva head-kapasitas dari pompa dan dari sistem merupakan titik kerja pompa dan instalasi. Pada titik ini head yang diperlukan oleh instalasi sama dengan head yang diberikan oleh pompa pada laju aliran yang sama. Bila daerah kerja pompa berubah, maka hal yang perlu diperhatikan:

#### **A. Pengoperasian dengan kapasitas tak penuh.**

Bila pompa dioperasikan dibawah kapasitas normalnya, maka beberapa masalah berikut ini akan timbul. Pada kapasitas aliran yang sangat kecil (mendekati nol) pompa dapat menjadi panas. Pada kapasitas yang rendah gaya radial pada impeller akan bertambah besar. [ *Sularso, hal - 94* ]

Pada umumnya kerugian-kerugian yang terjadi dalam pompa adalah dalam bentuk panas yang akan terbawa keluar oleh zat cair. Namun pada operasi katup keluar tertutup atau terbuka sangat kecil, maka kerugian akan meningkat sedangkan panas yang terbawa keluar sangat sedikit, maka temperatur pompa akan naik dengan cepat. Jika pompa dengan head yang tinggi dioperasikan pada kapasitas dekat katup tertutup, maka temperatur akan naik dan akan menimbulkan kesulitan seperti kavitasi. Kavitasi merupakan suatu pembentukan uap dan pecahnya gelembung-gelembung di dalam aliran fluida akibat adanya tekanan di suatu tempat dari fluida, lebih rendah dari tekanan penguapan fluida. [ *Dakso Snyono, hal-305* ]

## **B. Operasi melebihi kapasitas normal**

Beberapa masalah akan timbul selama operasi sebuah pompa, apabila kapasitasnya melebihi harga pada titik efisiensi optimumnya. Masalah ini berupa kenaikan daya poros pada pompa sentrifugal berkecepatan spesifik rendah.

### **1.3.2 Pengaturan Kapasitas**

#### **1.3.2.1. Cara Pengaturan.**

Laju aliran yang dibutuhkan dalam suatu instalasi pompa tidak selalu tetap. karena itu kapasitas aliran harus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Di bawah ini akan diuraikan berbagai cara yang dapat ditempuh.

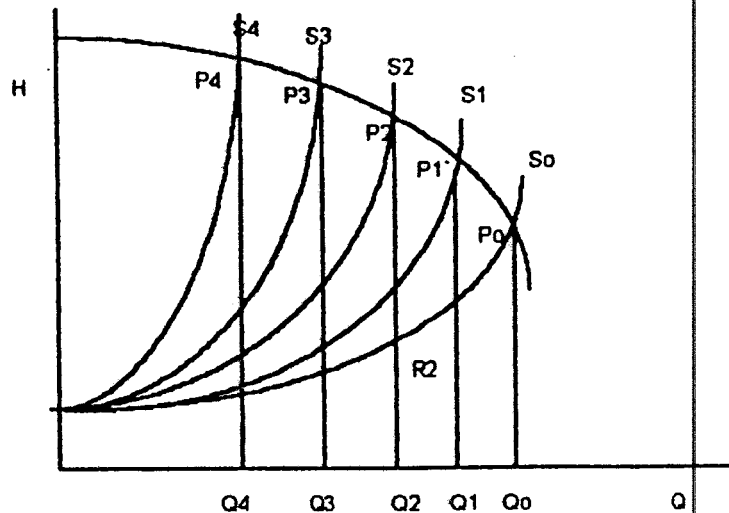
##### **A. Pengaturan Katup**

Dengan meningkatkan kerugian arus aliran fluida, maka akan didapat karakteristik instalasi yang baru, sehingga didapatkan titik potong yang baru pada karakteristik pompa. Pengaturan dengan katup ini mempunyai harga inventaris yang murah, tetapi karena hubungannya dengan memperbesar hambatan aliran fluida, akibatnya ongkos atau biaya bekerjanya sangat tinggi. [ Dakso Sriyono, hal - 321 ]

Cara pengaturan katup ini menggunakan katup pengatur yang dipasang di pipa keluar pompa. Aliran diatur dengan jalan menghambat aliran dengan mengatur pembukaan katup. Gambar di bawah menunjukkan kurva kapasitas dari pompa serta titik kerjanya.

Jika katup dibuka penuh maka sistem mempunyai kurva karakteristik  $S_0$ . Apabila pembukaan katup semakin diperkecil, maka kurva sistem akan berubah dari  $S_0$  menjadi  $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ . Titik operasi pompa juga akan berubah dari  $P_0$  menjadi

$P_1, P_2, P_3, P_4$ ... Dengan demikian kapasitas akan berkurang dari  $Q_0$  menjadi  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ ...



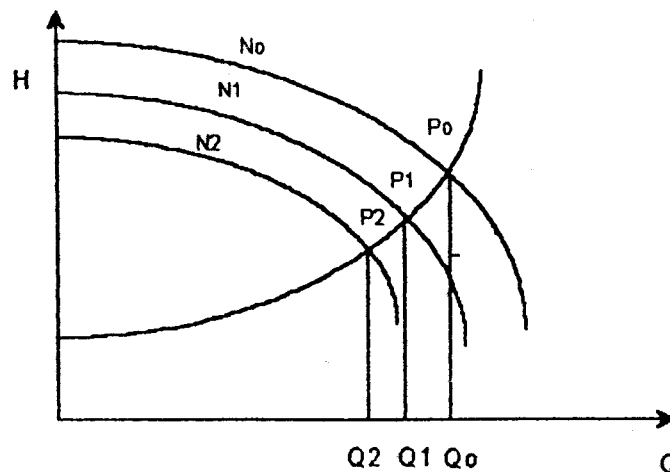
Pengaturan katup merupakan cara yang paling sederhana karena hanya menggunakan peralatan berupa katup. Namun pada pengaturan ini terdapat kerugian daya yang cukup besar karena tahanan katup. Jika laju aliran yang dibutuhkan adalah  $Q_2$ , maka tahanan katup harus dinaikkan hingga titik kerja pompa berubah dari  $P_0$  menjadi  $P_2$ , maka disini terjadi kerugian head sebesar  $P_2R_2$ . Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa apabila tahanan katup diperbesar (untuk mendapatkan kapasitas yang makin kecil), maka kerugian head juga akan semakin besar.

#### B. Pengaturan putaran

Jika kecepatan putar pompa berubah, maka karakteristik pompa juga akan berubah. Hal ini dapat dimengerti karena head pompa berubah sesuai dengan



kuadrat perubahan kecepatan putar. [ Dakso Sriyono, hal - 308 ] Perubahan tersebut dapat dilihat dalam gambar berikut.



Jika putaran pompa diturunkan, maka titik perpotongan antara kurva H-Q dari sistem akan bergeser ke arah kapasitas yang rendah. Jadi dengan mengatur putaran pompa, laju aliran dapat diatur pula.

Pengaturan putaran biasanya memberikan kerugian yang lebih kecil dan efisiensi yang lebih tinggi dari pada pengaturan katup. Salah satu untuk mengatur putaran pompa adalah merubah putaran motor penggeraknya.

### C. Pengaturan Sudu

Pengaturan sudu yang dapat dilakukan adalah merubah diameter luar dari impeller. Merubah diameter luar impeller sebenarnya bukan merupakan pengaturan pompa sentrifugal, tetapi termasuk salah satu cara untuk mencocokkan karakteristik pompa terhadap karakteristik instalasi. Pada waktu memperkecil diameter luar

impeller (mempekecil  $D_2$ ), maka harga  $U_2$  lebih kecil, lebar sudu ( $b_2$ ) akan melebar, dan besarnya sudut keluar ( $\beta_2$ ) akan mengecil. Pengecilan diameter luar impeller ini harus dibatasi, agar pompa mampu menghasilkan head dan kapasitas yang baik.

#### 1.4. PEMBATAAN MASALAH

Dalam penelitian Tugas Akhir ini permasalahan yang diambil adalah *"Pengaruh Perubahan Diameter Luar Impeller Pompa Sentrifugal Terhadap Unjuk Kerjanya"*

Dalam Tugas Akhir ini pembahasan diutamakan pada penelitian tentang performance (unjuk kerja) dari pompa. Sedangkan hal-hal lainnya hanya bersifat mendukung, seperti pengetahuan tentang motor listrik yang digunakan dan data mengenai motor listrik dapat dilihat pada spesifikasi motor yang digunakan. Selain itu masih ada pula hal yang sifatnya estimasi dari penyaji yaitu mengenai apa yang dalam literatur tidak diuraikan secara jelas. Ada beberapa hal yang tidak dapat diambil data yang diperlukan pada penelitian pompa tersebut mengingat konstruksi pompa yang digunakan penelitian ini terbatas sifatnya sehingga kepresisian dalam pengamatan sangat diperlukan.

#### 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Rujukan yang diambil dalam penelitian Tugas akhir ini berupa:

##### - Kajian Perpustakaan

Yaitu mencari beberapa sumber dari pustaka (literatur) sebagai bahan acuan yang mendukung penelitian ini.

**- Pengujian di Laboratorium**

Yaitu melakukan pengamatan dan melakukan penelitian untuk mendapatkan data yang diperlukan. Pengujian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pompa D-3 Mesin.

Dalam melakukan penelitian langkah-langkah yang dilakukan adalah:

**A. Langkah Persiapan.**

1. Merangkai instalasi pompa sentrifugal dan menyiapkan peralatan penelitian tachometer, penggaris panjang.
2. Menutup semua katup
3. Mengisi tangki instalasi sesuai dengan keperluan
4. Memeriksa adanya kebocoran dan memperbaikinya

**B. Menjalankan Pompa**

1. Motor penggerak pompa dihidupkan
2. Putaran motor diatur sampai putaran 1150 Rpm secara perlahan-lahan
3. Katup suction dibuka secara perlahan

**C. Pencatatan Data**

1. Untuk kondisi pertama setelah keadaan telah stabil, dicatat hal-hal yang diperlukan
2. Untuk selanjutnya pencatatan data dilakukan untuk setiap pembukaan katup discharge. Setiap perubahan pencatatan dilakukan sebanyak 10 kali, dengan selang waktu 2 menit.

**D. Hal-hal Yang Diamati**

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Tekanan Discharge                              | 3. Tegangan dan arus listrik |
| 2. Perubahan level air pada suction dan discharge | 4. Beban pada neraca         |

**E. Akhir Percobaan**

1. Menutup katup discharge
2. Menurunkan putaran motor
3. Mematikan aliran arus listrik.
4. Mengganti impeller untuk melakukan percobaan dengan kondisi berbeda

**- Analisa data dan pembahasan.**

Dari data yang telah diperoleh, diambil harga rata-rata dan dilakukan perhitungan. Hasil perhitungan tersebut dibuat grafik kemudian dianalisa untuk mendapatkan kesimpulan.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 PERSAMAAN DASAR ALIRAN ZAT CAIR

Persamaan dasar yang berperan dalam menganalisa suatu aliran zat cair didalam suatu sistem adalah:

1. Persamaan Konservasi Massa ( Kontinuitas )
2. Hukum Kedua Newton .
3. Persamaan Moment of Momentum.
4. Persamaan Bernoulli.
5. Hukum Pertama Thermodinamika.

##### 2.1.1 Persamaan Konservasi Massa ( Kontinuitas )

Dalam suatu sistem, jumlah massa yang ada dalam suatu sistem tersebut selalu konstan, sehingga: [ *Fox and Mc Donald hal 104* ]

$$\frac{dM}{dt} )_{\text{sistem}} = 0$$

dimana:

$$M_{\text{sistem}} = \int \text{massa } dM = \int \rho \, dV$$

Untuk sistem dan bentuk kontrol volume dihubungkan dengan persamaan:

$$\frac{dN}{dt} \text{ ) sistem} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \eta \rho dV + \int_{cs} \eta \rho V dA \quad 3$$

dimana:

$$N \text{ sistem} = \int_{massa} \eta dm = \int_v \eta \rho dV \quad 4$$

Untuk menurunkan persamaan kontrol volume pada konservasi massa, kita

berpedoman:

$$N = M \quad \text{dan} \quad \eta = 1 \quad 4a$$

Dengan mensubstitusikan 4a ke persamaan 3 kita dapatkan:

$$\frac{dM}{dt} \text{ ) sistem} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V dA \quad 5$$

$$0 = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \rho dV + \int_{cs} \rho V dA \quad 5a$$

Untuk aliran inkompresible, dimana harga  $\rho$  konstan dan  $V$  adalah tetap, maka persamaan 5a menjadi:

$$0 = \int_{cs} V dA \quad 6$$

sedang untuk steady flow berlaku

$$0 = \int_{cs} \rho V dA \quad \text{atau}$$

$$m = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad 7$$

### 2.1.2 Hukum Kedua Newton

Hukum kedua Newton menyatakan bahwa untuk suatu sistem yang bergerak relatif terhadap referensi tertentu yang diam, maka jumlah gaya yang bekerja pada sistem akan sama dengan perubahan momentum linear per satuan waktu dari sistem tersebut. [ *Ibid*, hal 111 ]

Sehingga dapat dituliskan:

$$F = \frac{dP}{dt} \text{ ) sistem} \quad 8$$

dimana:

$$P \text{ sistem} = \int_{\text{massa}} V \, dm = \int_V V \rho \, dV \quad 9$$

Gaya F merupakan penjumlahan dari gaya permukaan  $F_s$  dan gaya berat  $F_b$ .

$$F = F_s + F_b \quad 9a$$

Untuk sistem pada kontrol volume dapat dituliskan:

$$\frac{dN}{dt} \text{ ) sistem} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \eta \rho \, dV + \int_{cs} \eta \rho \, V \, dA \quad 10$$

dimana :

$$N_{\text{sistem}} = \int_{\text{massa}} \eta \, dm = \int_V \eta \rho \, dV \quad 11$$

untuk menurunkan nya kita berpegang pada:

$$N = P \quad \text{dan} \quad \eta = V \quad 11a$$

Dengan mensubstitusikan 11a ke persamaan 10 didapatkan:

$$\frac{dP}{dt} \text{ ) sistem} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} V \rho \, dV + \int_{cs} V \cdot \rho \cdot \bar{V} \, dA \quad 12$$

maka:

$$F = F_s + F_B = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} V \rho \, dV + \int_{cs} V \rho \, V \, dA$$

13

### 2.1.3 Persamaan moment of Momentum

Persamaan dasar Moment of Momentum untuk suatu sistem menyatakan bahwa besar perubahan momentum angular persatuan waktu sama dengan jumlah seluruh torsi yang bekerja pada sistem tersebut. [ *Ir IMade Arya Djoni MSc, hal - 78* ]

Persamaan dasar dari momen of momentum adalah: [ *Fox and Mc Donald, hal 143* ]

$$T = \frac{dH}{dt} \text{ ) sistem}$$

14

dimana:

T : Torsi total yang digunakan pada sistem.

H : Momentum angular dari sistem.

$$H \text{ sistem} = \int_{\text{massa}} r \times V \, dm = \int_v r \times V \rho \, dV$$

15

Sedang jumlah keseluruhan torsi luar yang berkerja pada sistem terdiri dari:

- Torsi yang dihasilkan oleh gaya permukaan
- Torsi yang dihasilkan oleh gaya berat
- Torsi yang berasal dari poros.

sehingga dapat dituliskan:

$$T = r \times F_s + \int_m r \times g \, dm + T_{\text{shaft}}$$

16



sedang hubungan antara sistem dengan kontrol volume dapat dituliskan:

$$\left( \frac{dN}{dt} \right)_{\text{sistem}} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \eta \rho \, dV + \int_{cs} \eta \rho \, V \, dA \quad 17$$

dimana :

$$N_{\text{sistem}} = \int_{\text{massa}} \eta \, dm = \int_{cv} \eta \rho \, dV \quad 18$$

Untuk  $N = H$  dan  $\eta = r \times V$  didapatkan:

$$\left( \frac{dH}{dt} \right)_{\text{sistem}} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} r \times V \rho \, dV + \int_{cs} r \times V \rho \, V \, dA \quad 19$$

Dengan mensubstitusikan ke persamaan 14 ke persamaan 19 akan didapatkan:

$$r \times F_s + \int_{cv} r \times g \, dm + T_{\text{shaf}} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} r \times V \rho \, dV + \int_{cs} r \times V \rho \, V \, dA \quad 20$$

Persamaan - persamaan tersebut dapat diaplikasikan ke turbo mesin. Turbo mesin merupakan peralatan yang mempunyai sudu-sudu yang terletak pada bagian yang berputar yang berfungsi untuk mengarahkan fluida yang mengalir melaluinya sehingga pada bagian tersebut akan terjadi pertukaran energi.

Untuk Steady Flow dengan asumsi:

- Konstruksi gaya body dapat diabaikan , karena bentuk impeller simetris

$$\int_{cv} r \times g \, dm = 0$$

maka persamaan 20 menjadi

$$T_{\text{shaft}} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} r \times V \rho \, dV + \int_{cs} r \times V \rho \, V \, dA \quad 21$$

Persamaan tersebut dapat dipakai untuk turbo mesin axial dan radial. Sistem koordinat yang paling praktis dipakai adalah sumbu Z, yang mana sumbu tersebut searah dengan sumbu rotor.

Akhirnya persamaan menjadi

$$T_{\text{shaft}} = (r_2 \cdot V_{t2} - r_1 \cdot V_{t1}) m \quad 22$$

sedang perhitungan dayanya adalah:

$$W_{\text{in}} = \omega \cdot T_{\text{shaft}}$$

$$W_{\text{in}} = \omega \cdot (r_2 \cdot V_{t2} - r_1 \cdot V_{t1}) m \quad 23$$

$$\text{jika } U = r \cdot \omega \quad U = \text{kecepatan putar.}$$

jika persamaan 23 tersebut dibagi dengan  $m \cdot g$ , maka akan didapatkan suatu besaran dimensi panjang yang disebut dengan Head (H).

$$H = \frac{W_{\text{in}}}{m \cdot g}$$

$$H = \frac{1}{g} (U_2 \cdot V_{t2} - U_1 \cdot V_{t1}) \quad 24$$

#### 2.1.4 Persamaan Beroulli

Persamaan Bernoulli didapat dari integrasi persamaan Euler sepanjang stream line untuk steady flow. [ *Ibid*, hal 246 ]

Persamaan Euler tersebut :

$$-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\delta p}{\delta S} - g \frac{\delta Z}{\delta S} = V \frac{\delta V}{\delta S} \quad 25$$

Bila partikel fluida bergerak sepanjang dS pada stream line, maka

$$\frac{\delta P}{\delta S} dS = dP \quad (\text{Perubahan tekanan sepanjang S})$$

$$\frac{\delta Z}{\delta S} dS = dZ \quad (\text{Perubahan elevasi sepanjang S})$$

$$\frac{\delta V}{\delta S} dS = dV \quad (\text{Perubahan kecepatan sepanjang S})$$

Setelah persamaan 25 dikalikan dengan dS didapatkan:

$$-\frac{1}{\rho} \cdot dP - g \cdot dz = V dV \quad (\text{sepanjang S}) \quad 26$$

atau dapat juga dituliskan:

$$\frac{1}{\rho} \cdot dP + g \cdot dz + V dV = 0 \quad (\text{sepanjang S}) \quad 27$$

Integrasi dari persamaan ini akan memberikan:

$$\int \frac{1}{\rho} \cdot dP + g \cdot dz + V dV = \text{konstan} \quad 28$$

Untuk aliran Inkompresible ( $\rho = \text{konstan}$ ), maka persamaan 28 menjadi :

$$\int \frac{1}{\rho} \cdot dP + g \cdot dz + V dV = \text{konstan}$$

29

$$\frac{P}{\rho} + g \cdot Z + \frac{V^2}{2} = \text{konstan} \quad (\text{sepanjang stream line})$$

30

Persamaan 30 berlaku dengan asumsi

- Aliran steady
- Aliran inkompresibel
- Aliran tanpa gesekan
- Aliran sepanjang stream line.

### 2.1.5 . Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika merupakan pernyataan dari konservasi energi dari suatu sistem. [ *Ibid, hal - 158* ]

Rumusannya dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$Q + W = \frac{dE}{dt} \text{ ) sistem.}$$

31

dimana besarnya energi dari sistem adalah :

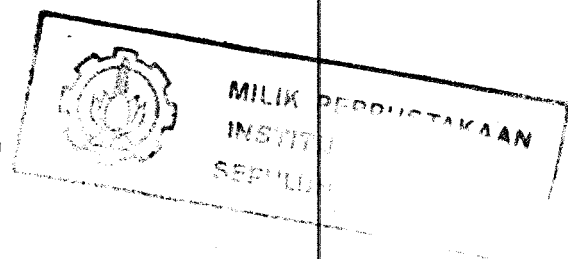
$$E \text{ sistem} = \int_m e \cdot dm = \int_v e \cdot \rho \cdot dV$$

32

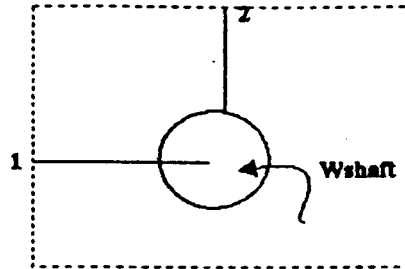
dimana;

$$e = u + \frac{V^2}{2g} + g \cdot Z$$

33



sedang untuk sistem dan kontrol volume dihubungkan dengan melihat gambar berikut:



Gambar 1. Penentuan Kontrol Volume Pada Sistem

$$\frac{dN}{dt} \text{ ) sistem} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \eta \rho \, dV + \int_{cs} \eta \rho \, V \, dA \quad 34$$

dimana :

$$N \text{ sistem} = \int_{massa} \eta \, dm = \int_V \eta \rho \, dV \quad 35$$

untuk menurunkan persamaan tersebut kita menggunakan

$$N = E \quad \text{dan} \quad \eta = e$$

dengan mensubstitusikan ke persamaan kita dapatkan:

$$\frac{dE}{dt} \text{ ) sistem} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} e \rho \, dV + \int_{cs} e \rho \, V \, dA \quad 36$$

sehingga

$$Q + W = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} \eta \rho \, dV + \int_{cs} \eta \rho \, V \, dA \quad 37$$

Laju kerja pada kontrol volume dibagi atas empat bagian

$$W^0 = W^0 \text{ shaft} + W^0 \text{ normal} + W^0 \text{ shear} + W^0 \text{ other} \quad 38$$

Selanjutnya kerja tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Kerja poros (  $W^0$  shaft)

Kerja poros yang terjadi adalah  $W_{shaft}$  dan kerja yang ditransfer melalui permukaan atur oleh poros persatuan waktu adalah  $W^0_{shaft}$

## 2. Kerja oleh tegangan Normal

Besarnya kerja total yang bekerja pada permukaan atur oleh tegangan normal adalah:

$$W^0_{normal} = \int_{cs} \sigma_{nn} \cdot dA \cdot V = \int_{cs} \sigma_{nn} V \cdot dA$$

## 3. Kerja oleh tegangan geser

$$W^0_{shear} = \int_A \tau \cdot V \cdot dA$$

## 4. Kerja yang lain.

Kerja lain ini dapat berasal dari tenaga listrik, atau juga kerja elektromagnetik misalnya kerja yang terjadi pada radar atau sinar laser.

Dalam banyak hal, kerja tersebut tidak ada (diabaikan), tetapi tetap harus dituliskan dalam persamaan dasarnya.

Sehingga persamaan dari Hukum I Termodinamika didapatkan:

Asumsi yang digunakan:

1.  $W_{shear} = 0$  ( arah aliran tegak lurus dengan Control Surface )
2.  $W_{other} = 0$
3. Kondisi Steady State

$$Q + W_s + W_{normal} + W_{shear} + W_{other} = \frac{\delta}{\delta t} \int_{cv} e \cdot p \cdot dV + \int_{cs} e \cdot p \cdot V \cdot dA \quad 39$$

$$Q + W_{\text{shaft}} = \frac{\delta}{\delta.t} \int_{cv} e.p.dV + \int_{cs} e.p.V.dA - \int_{cs} \sigma_m v (\rho.V.dA) \quad 40$$

$$Q + W_{\text{shaft}} = \frac{\delta}{\delta.t} \int_{cv} e.p.dV + \int_{cs} e.p.V.dA - \int_{cs} P.v (\rho.V.dA) \quad 41$$

$$Q^0 + W^0_{\text{shaft}} = \frac{\delta}{\delta.t} \int_{cv} e.p.dV + \int_{cs} (e + P.v) \rho.V.dA \quad 42$$

Berdasar asumsi (3), maka:

$$\frac{\delta}{\delta.t} \int_{cv} e.p.dV = 0 \quad 43$$

Selanjutnya didapatkan

$$Q^0 + W^0_{\text{shaft}} = \int_{cs} (e + p.v) . \rho . V . dA \quad 44$$

dimana:

$$e = U + \frac{V^2}{2} + gZ \quad 45$$

Untuk mendapatkan head instalasi kita menggunakan asumsi:

1. Aliran uniform
2. Aliran inkompresible
3. Aliran disepanjang saluran strem line.

Sehingga:

$$Q + W_{\text{shaft}} = \int_{cs} \left( U + \frac{V^2}{2} + gZ + P.v \right) . \rho . V . dA \quad 46$$

$$Q + W_{\text{shaft}} = \int_{cA1} \left( U + \frac{V^2}{2} + gZ + P.v \right) . \rho . V . dA + \int_{cA2} \left( U + \frac{V^2}{2} + gZ + P.v \right) \rho . V . dA \quad \dots(47)$$

$$Q + W_{shaft} = - \left( U_1 + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 + P_1 v \right) \cdot \rho \cdot V A_1 + \left( U_2 + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2 + P_2 v \right) \rho \cdot V_2 A_2$$

.....(48)

Dari hukum konservasi massa didapat:

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 = m$$

sehingga didapatkan:

$$W_{shaft} = \left( \frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) m + \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) m + g(Z_2 - Z_1)m + \left( U_2 - U_1 - \frac{dQ}{dM} \right) m$$

.....(49)

$$\frac{W_{shaft}}{m \cdot g} = \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} \right) + (Z_2 - Z_1) + \left( U_2 - U_1 - \frac{dQ}{dM} \right) \frac{1}{g}$$

.....(50)

Akhirnya Head Instalasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} \right) + (Z_2 - Z_1) + \Sigma H_{lt}$$

51

Dimana:

P1 = Tekanan pada saluran suction

P2 = Tekanan pada saluran discharge

V1 = Kecepatan aliran pada pipa suction

V2 = Kecepatan aliran pada pipa discharge.

Z1 = Tinggi permukaan air pada saluran suction

Z2 = Tinggi permukaan air pada saluran Discharge

$\Sigma H_{lt}$  = Total Head loss pada kedua saluran.



## BAB III

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 3.1. HEAD YANG DIHASILKAN IMPELLER POMPA

Untuk menghitung Head teoritis kita menggunakan gambar 13, lampiran C -86. Cairan yang dipompa berasal dari ruang pusat 1 dalam rumah pompa ke sudu bagian masuk 2. Setelah melewati diantara sudu-sudu ini head dinamik dari aliran tersebut yang terdapat didalam aliran cairan merupakan bagian dari head statik dan kecepatan dari cairan.

Dengan asumsi impeller (4) mempunyai jumlah sudu yang tak terbatas dan sudu (3) sangat tipis [ lampiran C-86 a ] dan mempunyai bentuk yang sama. Komponen-komponen cairan yang mengalir melalui laluan antar sudu dari saluran masuk circumference dari jari-jari  $r_1$  ke saluran luar circumference dengan jari-jari  $r_2$  akan terurai pada bagian yang sama. Cairan pada laluan antar sudu dibagi dalam transfer, relatif, dan absolut ke gaya mekanik yang dipergunakan pada komponen-komponen cairan oleh sudu impeller yang berputar pada sumbu O dengan dengan kecepatan sudut  $\omega$

komponen-komponen cairan yang masuk dan keluar dari sudu dibagi dalam:

1. Kecepatan keliling  $U_1$  dan  $U_2$  arahnya menyinggung lingkaran dalam dan lingkaran luar dari sudu.
2. Kecepatan relatif  $W_1$  dan  $W_2$  arahnya menyinggung dari penampang sudu

3. Kecepatan absolut  $C_1$  dan  $C_2$  masing-masing merupakan penjumlahan dari  $U_1$  dan  $\omega_1$ ,  $U_2$  dan  $\omega_2$ , serta sudut  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$

$$M_1 = r_1 \cdot m \cdot C_{1u} = r_1 \cdot m \cdot C_1 \cos \alpha_1 \quad 52$$

dan

$$M_2 = r_2 \cdot m \cdot C_2 \cos \alpha_2 \quad 53$$

dimana:

$m$  : Massa dari cairan ideal yang mengalir melalui impeller dalam 1 detik

$M$  : Momen pada titik 1 dan 2.

sedang perubahan momen of momentum :

$$\Delta M = M_2 - M_1 = r_2 \cdot m \cdot C_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cdot m \cdot C_1 \cos \alpha_1 \quad 54$$

jika  $N$  merupakan daya, maka torsi dari poros pompa:

$$M = N / \omega \quad 55$$

momen impuls dari gaya luar bekerja sebesar  $t = 1$  detik  $Mt = M$ , maka

hukum momen of momentum menjadi:

$$\begin{aligned} M &= N / \omega \\ &= r_2 \cdot m \cdot C_2 \cos \alpha_2 - r_1 \cdot m \cdot C_1 \cos \alpha_1 \end{aligned} \quad 56$$

Sedang head teoritis yang dihasilkan pompa didefinisikan sebagai perbedaan head dari cairan pada bagian lingkaran luar dan lingkaran dalam dari impeller.

Untuk membedakan dengan head virtual,  $H$ , yang dihasilkan impeller, Head teoritis ditandai dengan  $t_{\infty}$ .  $t$  menyatakan head teoritis tanpa mempertimbangkan head loss

jika cairan yang melewati laluan impeller diasumsikan sebagai cairan ideal,

sedang  $\omega$  menyatakan impeller mempunyai jumlah sudu tak terbatas

Daya poros yang bekerja pada impeller

$$N = m \cdot g \cdot H t \omega$$

57

dengan menggabungkan kedua persamaan tersebut diatas didapatkan:

$$\frac{m \cdot g \cdot H t \omega}{\omega} = r_2 \cdot m \cdot C_2 \cdot \cos \alpha_2 - r_1 \cdot m \cdot C_1 \cdot \cos \alpha_1$$

58

masing-masing suku dikalikan dengan  $\omega$ , maka:

$$\frac{m \cdot g \cdot H t \omega}{\omega} = \omega r_2 \cdot m \cdot C_2 \cdot \cos \alpha_2 - \omega r_1 \cdot m \cdot C_1 \cdot \cos \alpha_1$$

sehingga:

$$H t \omega = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2 - u_1 C_1 \cos \alpha_1}{g} = \frac{U_2 C_{2u} \cdot U_1 C_{1u}}{g}$$

59

Dengan menggunakan diagram kecepatan, akan didapatkan hubungan antara  $\omega_1$ ,  $c_1$ ,  $u_1$ , dan  $\alpha_1$  untuk saluran masuk dan  $\omega_2$ ,  $c_2$ ,  $u_2$ , dan  $\alpha_2$  untuk saluran keluar.

Dimana :

Untuk saluran masuk :

$$\omega_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2u_1 c_1 \cos \alpha_1$$

$$u_1 c_1 \cos \alpha_1 = (u_1^2 - \omega_1^2 + c_1^2) / 2$$

60

Saluran Keluar :

$$\omega_2^2 = c_2^2 + u_2^2 - 2u_2 c_2 \cos \alpha_2$$

$$u_2 c_2 \cos \alpha_2 = (u_2^2 - \omega_2^2 + c_2^2) / 2$$

61

Dengan mensubstitusikan persamaan 60 & 61 pada persamaan 59 didapatkan:

$$H t \omega = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1}{g} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}$$

62

Dimana:

$\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g}$  = Merupakan penambahan head statis akibat adanya gaya inersia jika komponen cairan yang melalui saluran masuk telah diteruskan. Head ini selalu berharga positif.

$\frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g}$  = Penambahan dari head statis akibat perubahan kecepatan cairan yang melalui laluan antar sudu. Harga besaran ini dapat positif ataupun negatif.

$\frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}$  = Penambahan head dinamik akibat perubahan kecepatan absolut dari cairan yang melalui laluan antar sudu. Dan selalu berharga positif.

Dalam kenyataannya efek dari jumlah sudu takterbatas ini tidaklah mungkin, karena itu head yang dihasilkan oleh jumlah sudu tak terbatas harus dikalikan dengan faktor sirkulasi  $K_{2cu}$ . Menurut Prof.C.Pfleiderer besarnya  $K_{2cu}$  dirumuskan:

$$K_{2cu} = \frac{1}{1 + 2 \frac{\varphi u}{Zv} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}}$$

63

Dimana:

$$\varphi u = (.55 - 0.65) + \sin (180 - \beta_2)$$

### 3.2 PARAMETER YANG BERPENGARUH TERHADAP IMPELLER.

#### 3.2.1 Pengaruh perubahan diameter.

Perubahan diameter impeller pada pompa sentrifugal akan berpengaruh terhadap Head dan Kapasitas. Pengaruh perubahan diameter impeller pada Head, Kapasitas secara teoritis didapat berdasar rumusan: [ Dakso Sriyono, hal - 327 ]

$$\frac{Q_x}{Q_y} = \frac{H_x}{H_y} = \left( \frac{D_x}{D_y} \right)^2$$

64

Dimana:

$Q_x$  : Kapasitas sebelum pemotongan

$Q_y$  : Kapasitas sesudah pemotongan

$H_x$  : Head sebelum pemotongan

$H_y$  : Head sesudah pemotongan

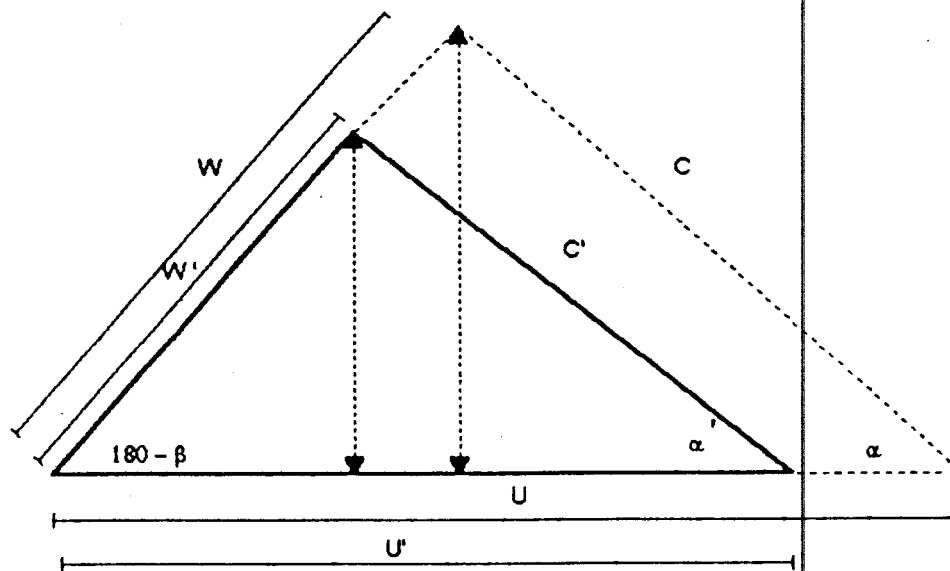
$D_x$  : Diameter sebelum pemotongan

$D_y$  : Diameter sesudah pemotongan

Rumusan diatas bersifat teoritis, karena pada kondisi aktual efisiensi turun dengan adanya pemotongan impeller. Hal ini terlihat dengan turunnya head dan kapasitas yang dibangkitkan.

Dalam mengurangi diameter luar harus dibatasi agar impeller tetap menghasilkan kapasitas dan head yang sesuai.

Pengaruh pemotongan impeller dapat dilihat dalam gambar dibawah ini:



Gambar 8 .Diagram kecepatan pada bagian out let

Adanya penurunan efisiensi akibat penurunan diameter impeller disebabkan oleh faktor-faktor berikut:

1. Pemotongan impeller akan menyebabkan ujung impeller tumpul yang dapat menimbulkan distribusi aliran. Hal ini dapat diatasi dengan meruncingkan ujung-ujung sudu.

2. Pemotongan impeller yang berlebih dapat menyebabkan laluan aliran melalui volute chamber terlalu panjang
3. Untuk sudut masuk sudu yang besar, maka akan menyebabkan timbulnya kondisi masuk aliran menjadi shock.

Sedang untuk pompa aliran axial casing pompa didesain untuk ukuran diameter impeller tertentu, sehingga pemotongan impeller menjadi tidak praktis lagi.

Variasi head dan kapasitas dengan pemotongan impeller dapat diperlihatkan sebagai berikut:

1. Kapasitas ( $Q$ ) bervariasi secara langsung dengan luasan laluan sudu impeller dan kecepatan aksialnya konstan.
2. Head ( $H$ ) pada lingkaran luar impeller turun berbanding langsung dengan kuadrat dari diameternya.

Pada dasarnya pendesainan impeller aliran aksial untuk  $H$  yang konstan pada semua radius (pemotongan yang tidak banyak) dan justru dengan pemotongan impeller ini tidak praktis lagi.

### **3.2.2. Pengaruh Perubahan Sudut Keluar ( $\beta_2$ ) Pada Head Yang Dihasilkan.**

Perubahan sudut keluar akan mempengaruhi head yang dihasilkan oleh impeller. Hal ini dapat dijelaskan dengan adanya perubahan  $C_{2u}$  pada persamaan diatas [ Khetagurov, hal 232 ]. Dengan asumsi bahwa hanya sudut  $\beta_2$  yang berubah, sedang besaran lain seperti ukuran geometrik, kapasitas, putaran tetap konstan, maka dapat disimpulkan: [ *Ibid*, hal 232 ]

a. Untuk sudu melengkung ke depan (gambar 13 )  $\beta_2 < 90$

$$Hf \sim > U_2^2 / g$$

b. Untuk sudu radial (gambar 13 )  $\beta_2 = 90$

$$Hf \sim = U_2^2 / g$$

c. Untuk sudu melengkung ke belakang (gambar 13. )  $\beta_2 > 90$

$$Hf \sim < U_2^2 / g$$



## BAB IV

### KONSTRUKSI DAN INSTALASI POMPA SENTRIFUGAL

Yang dimaksud dengan konstruksi pompa sentrifugal adalah peralatan yang ada pada pompa itu sendiri. Sedang instalasi pompa sentrifugal merupakan peralatan-peralatan yang digunakan dalam pengoperasian pompa sentrifugal serta aplikasinya.

Sebuah pompa sentrifugal merupakan mesin yang terdiri dari beberapa rotating vanes yang tertutup dalam sebuah rumah / casing yang dipergunakan untuk memberikan energi kepada fluida melalui gaya sentrifugal.

Secara garis besar pompa sentrifugal terdiri dari dua bagian:

1. Bagian yang berputar ( rotating element ) termasuk disini adalah impeler dan porosnya
2. Bagian yang diam ( stationery element ) termasuk didalamnya casing, stuffing box, seal.

#### 4.1. Konstruksi Pompa Sentrifugal

Bagian-bagian pompa sentrifugal secara umum:

- a. Casing
- b. Plug
- c. Impeller

d. Seal Braket

e. O- ring

f. Base

g. motor

Berikut ini akan diuraikan masing-masing bagian tersebut.

#### A. Casing

Casing disebut juga volute casing yang mempunyai bentuk spiral atau rumah keong yang letaknya menyelubungi impeller. Casing berfungsi untuk mengumpulkan fluida yang dikeluarkan impeller dan mengubah tenaga kecepatan ( velocity energy ) menjadi energi potensial. Luasan dari Volute casing dari pompa sentrifugal mengalami kenaikan mulai dari titik awal sampai mencapai 360 mengelilingi impeller dan selanjutnya melebar keluar menuju final discharge opening.

#### B. Plug

Plug merupakan tutup yang letaknya pada bagian atas dari casing yang berfungsi untuk memancing jika air dalam casing kosong. Pompa sentrifugal berukuran besar mempunyai bagian plug berupa corong dimana dibagian bawahnya mempunyai katub.

Untuk pompa dengan suction head tidak perlu adanya primming, karena terjadinya kekosongan casing tidak mungkin terjadi.

### C. Impeller

Impeller merupakan susunan dari beberapa sudu yang tersusun melingkar dimana bagian inlet terletak pada sumbu poros dan bagian outlet pada diameter luar. Fungsi dari impeller yang utama adalah merubah kecepatan aliran masuk melalui inlet menjadi aliran yang mempunyai kecepatan yang lebih tinggi pada bagian outlet dari impeller. Perbedaan kecepatan masuk dan keluar akan menimbulkan gaya kinetik yang kemudian diubah oleh volute casing menjadi energi potensial. Besarnya perbedaan kecepatan / percepatan yang diberikan oleh aliran tergantung pula oleh gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh impeller. Untuk penelitian ini impeller yang digunakan adalah impeller type tertutup.

Pembagian Jenis impeller, menurut Hicks, P.E, hal - 21

Ditinjau menurut masuknya cairan impeller terbagi dalam:

- Single Suction Impeller, merupakan impeller dimana cairan masuk hanya melalui salah satu sisi saja.



*Gambar 2. Single Suction Impeller*

[ Ibid, hal - 23 ]

- Double Suction Impeller, dimana saluran masuk terdapat pada kedua sisinya.



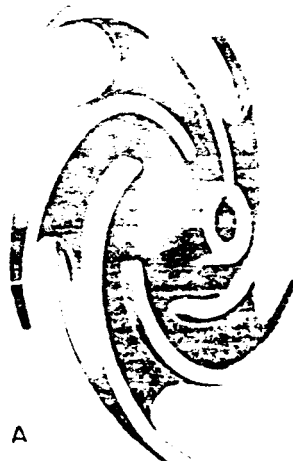
**Gambar 3. Double Suction Impeller**

[ *Bid, hal - 23* ]

Ditinjau menurut mechanical desainnya, impeller terbagi dalam:

- Open impeller

Merupakan impeller yang terdiri sudu-sudu yang terikat pada central hub tanpa adanya dinding penutup.

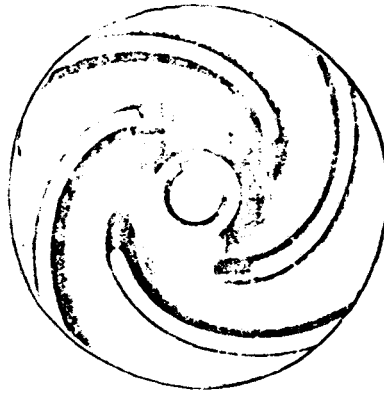


**Gambar 4. Open Impeller**

[ *Bid, hal - 23* ]

- Semi Open Impeller

Impeller jenis ini dilengkapi dengan penutup pada salah satu sisinya.

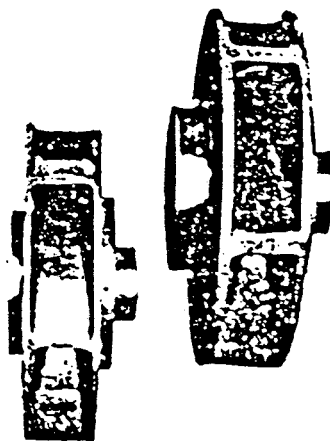


*Gambar 5. Semi Open Impeller*

[ *Ibid*, hal - 23 ]

- Close impeller

Merupakan impeller yang sudunya terletak pada diantara kedua dinding penutupnya. Impeller jenis ini umumnya digunakan untuk memompa cairan yang bersih.



*Gambar 6. Close Impeller*

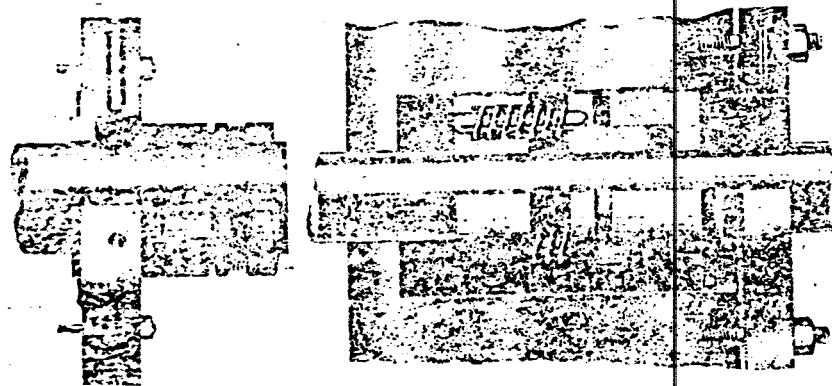
[ *Ibid*, hal - 23 ]

#### D . Stuffing Box

Stuffing box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada tempat dimana poros pompa keluar dari rumah pompa.

Jika pompa beroperasi dengan suction lift, maka tekanan di dalam pompa akan lebih rendah dari tekanan atmosfer dan udara luar akan masuk ke dalam pompa. [ *Hick, hal - 27* ]. Untuk mengatasi hal tersebut biasanya ditambahkan Seal Cage pada stuffing box. Paking pada stuffing ini dapat diatur, yaitu diatur dengan mengatur baut ke arah aksial. Selain itu paking juga berfungsi untuk menyerap panas.

[ *Lazarkiewicz, hal - 310* ].



*Gambar 7. Stuffing Box*

[ *Hicks, P.E, hal - 29* ]

#### E. Seal Braket

Seal Braket berfungsi sebagai pengganti dari casing yang menangkap dibagian belakang dan tempat kedudukan mekanikal seal yang terdiri dari pegas, karet, dan ring yang terbuat dari carbon.

#### **F. O - Ring**

O-Ring berbentuk seperti karet gelang/ bulat melingkar dan terletak diantara casing dengan seal braket . O-Ring berfungsi untuk mencegah kebocoran antara seal braket dengan casing.

#### **G. Base**

Base berbentuk empat persegi panjang dan diikat dengan hexagon bolt pada casing dan rumah motor. Base berfungsi untuk menahan motor dan meredam getaran dari motor dan pompa. Base ini merupakan alas yang ditempatkan pada pondasi dari pompa dan motor.

#### **H. Motor**

Motor yang digunakan dalam penelitian adalah motor listrik dengan double Voltage AC 100 - 130 V / 220 - 240 V. dengan cycle 50 Hz, dengan Rpm maksimal 1750 Rpm. Sedang type dari motor adalah Motor sinkron dengan pendingin kipas. Putaran motor ini dapat diatur dengan merubah speed variable.

#### **4.2. Instalasi Pompa Sentrifugal**

Instalasi pompa sentrifugal yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas:

[ Lihat gambar 10 , lampiran C - 83 ]

##### **A. Discharge Pressure Gage**

Alat ini berfungsi untuk mengetahui tekanan discharge yang dihasilkan pompa. Tekanan yang terjadi merupakan tekanan absolut.

#### **B. Gate Valve**

Gate valve pada instalasi penelitian ini dipasang pada saluran suction dan saluran discharge. Pada saluran masuk berfungsi untuk menutup saluran masuk, jika pompa sentrifugal dibongkar sedang tangki masih berisi cairan. Sedang pada saluran keluar berfungsi sebagai pengatur kapasitas aliran.

#### **D. Amper meter**

Amper meter berfungsi untuk mengetahui besarnya arus yang melalui motor penggerak. Pemasangan Amper meter ini dihubungkan secara seri dengan motor listrik, sehingga arus yang mengalir ke motor dapat diamati sesuai dengan beban yang dihandle oleh motor listrik.

#### **F. Volt Meter**

Volt meter yang digunakan mempunyai skala 0 - 300 volt dan dihubungkan secara paralel dengan motor listrik. Volt meter ini berfungsi untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada kutub-kutub pada motor.

#### **G. Base Instalasi**

Base instalasi merupakan landasan dari seluruh instalasi yang berfungsi untuk menahan getaran berlebih. Landasan yang digunakan terbuat dari besi yang dilandasi dengan karet.

Jika pada pompa diadakan pembongkaran, sebaiknya landasan karet diganti pula untuk mendapatkan peredaman yang baik.



#### **H. Kran/ Drain**

Kran ini berfungsi untuk membuang air dalam tangki, jika air tidak digunakan lagi untuk percobaan. Pengoperasiannya dengan menutup saluran discharge dan membuka kran

#### **I. Union**

Union merupakan alat penyambung pipa yang mudah dipasang dan dilepas. Dalam mengoperasikan pompa alat ini harus sering dicek, sebab pada alat ini sering terjadi kebocoran. Bila terjadi kebocoran pada sisi suction akan mengakibatkan menurunnya head dan kapasitas dan lebih parah lagi pompa tak dapat menghasilkan kapasitas. Untuk mengatasinya union perlu dipererat atau pada union ditambahkan seal plastik. Selain itu untuk menjaga agar tidak terjadi kebocoran union jangan terlalu sering dibuka

#### **J. Pengatur kecepatan motor.**

Peralatan ini berfungsi untuk menambah atau mengurangi kecepatan motor. Cara mengaturnya dengan memutar ke arah kanan jika menambah dan ke kiri jika mengurangi. Penambahan atau pengurangan tidak boleh secara mendadak, hal ini untuk menanggulangi terjadinya kerusakan pada motor listrik yang digunakan.

#### **K. Indikator Kapasitas**

Indikator kapasitas pada instalasi penelitian, berupa pipa kaca yang dihubungkan dengan tangki discharge. Sehingga ketinggian pada pipa ini juga menun-

jukkan tinggi limpahan / kapasitas yang dihasilkan pompa sentrifugal. Untuk mempermudah pembacaan, disamping pipa kaca diletakkan penggaris untuk pembacaan ketinggian air.

#### **L. Tinggi Air**

Tinggi air pada tangki suction diukur dengan penggaris yang diletakkan didalam tangki tersebut. Pembacaan tinggi air pada tangki suction ini harus hati-hati mengingat tidak ada indikator seperti pada tangki discharge.

#### **M. Neraca**

Neraca yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca pegas. Neraca berfungsi untuk mengetahui besarnya torsi yang ditimbulkan oleh putaran motor. Perlu diketahui bahwa sebelum pompa dijalankan neraca ini telah menunjukkan beban 0.5 Kg.

## BAB V

### FENOMENA ALIRAN DALAM IMPELLER

#### 5.1 SIFAT-SIFAT FISIK CAIRAN

Cairan merupakan bagian dari fluida yang mempunyai viskositas dan termasuk fluida yang inkompresible. Unjuk kerja pompa dapat berubah tergantung dari jenis cairan yang dialirkan.

##### 5.1.1. Massa Jenis dan Grafitasi Spesifik

Massa jenis cairan (  $\rho$  ) merupakan massa cairan persatuan volume dari cairan. Sedang grafitasi spesifik ( SG ) dari cairan menyatakan perbandingan antara massa jenis cairan dengan massa jenis air dengan volume yang sama.

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{air}}$$

##### 5.1.2 Kompresibilitas dan Viskositas.

Kompresibilitas merupakan kemampuan cairan untuk dimampatkan ( perubahan massa jenis ). Viskositas merupakan ukuran tekanan aliran atau dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan tegangan geser antara lapisan fluida yang berdekatan dengan permukaan alir terhadap laju perubahan kecepatan yang tegak lurus terhadap arah aliran. Viskositas secara praktis tidak tergantung pada tekanan,

tetapi bervariasi terhadap temperatur. Efek viskositas pada aliran zat cair dapat digambarkan lebih jelas pada suatu aliran melalui permukaan alir.

Viskositas dapat menyebabkan kerugian energi pada aliran saat melalui impeler dan head yang dihasilkan impeler, hal ini karena adanya kenaikan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa.

### **5.1.3. Ekspansi Thermis.**

Ekspansi thermis merupakan kemampuan cairan untuk mengembang akibat timbulnya panas pada proses pemompaan. Efek ini terlihat pada pemompaan cairan pada temperatur tinggi.

### **5.1.4 Daya Larut Gas Dalam Cairan**

Cairan mempunyai kemampuan untuk melarutkan gas dalam jumlah yang berbeda. Jumlah gas yang dilarutkan didapat dari hukum Henry, " Voleme gas yang bisa diserap akan turun, jika temperaturnya naik".

[ Lazarkiewicz, hal - 11 ]

## **5.2 FENOMENA-FENOMENA ALIRAN**

Analisa pada bagian ini merupakan analisa secara teoritis saat cairan melalui impeller, yang didasarkan pada sifat-sifat fisik zat cair itu sendiri. Adanya fenomena-fenomena aliran melalui impeller dapat menyebabkan berkurangnya Head yang dibangkitkan oleh pompa. Pada kondisi aktual sangat sulit menganalisa fenomena aliran tersebut.

### 5.2.1 Turbulensi

Aliran fluida yang terjadi di dalam pompa adalah jenis aliran terbuka, dimana pada bagian-bagian tertentu dari pompa seperti pada bagian tepi inlet dan out let, sudu impeller, diffuser, return guide vanes dan aliran fluida mendapat gangguan yang cukup serius, sehingga menyebabkan kehilangan head.

Kehilangan tersebut dapat juga dinamakan kehilangan turbulensi. Sebuah pompa sentrifugal didesain untuk beroperasi pada Kapasitas  $Q$  dan kecepatan tertentu dan diharapkan beroperasi pada keadaan tersebut dalam jangka waktu yang cukup lama. Apabila pompa dioperasikan pada pada kapasitas  $Q$  dengan kecepatan yang lain, maka sudut-sudut dari sudu impller sudah tidak sesuai lagi sehingga akan memperbesar kerugian turbulensi.[ Church, hal - 30 ]

### 5.2.2 Friction

Kenaikan kerugian akibat gesekan dapat diperkirakan sebanding dengan kuadrat dari kecepatannya. Karena luasan tetap, maka kecepatan sebanding dengan kapasitas  $Q$ . Dengan demikian kenaikan kerugian gesekan sebanding dengan kuadrat dari kapasitas  $Q$ .

Kerugian gesekan ini akan bertambah besar dengan bertambah besarnya luas permukaan impeller, karena itu impeller dibuat sehalus mungkin.[ Ibid, hal - 30 ]

### 5.2.3 Prerotation Fluida

Pada daerah inlet sudu, fluida akan mendadak kontak dengan impeller yang berputar, dengan demikian fluida akan berputar bersama dengan impeller

Prerotation ini akan menyebabkan bertambah besarnya komponen  $C_{lu}$ , sehingga mengurangi Head teoritis yang dibangkitkan oleh pompa. [ Ibid, hal - 31 ]

#### 5.2.4 Circulatory Hidrolis

Aliran fluida yang melalui impeller yang berputar dapat dibedakan atas aliran yang melalui sudu-sudu impeller dan aliran melingkar. Aliran melingkar ini sebenarnya relatif kecil dan hanya merupakan suatu kelengkapan hasil resultan antara kedua macam aliran.

Efek pada inlet jauh lebih kecil dari pada out let karena sudu-sudu pada daerah inlet relatif lebih kecil berdekatan antara satu dengan yang lain.

Besarnya aliran melingkar yang terjadi pada impeller tergantung pada bentuk rongga yang ada diantara sudu dari impeller. Pada sebuah impeller yang mempunyai jumlah sudu banyak akan menyebabkan ruangan yang ada diantara laluan sudu-sudu menjadi sempit, dan hal ini akan mengurangi aliran melingkar.

Cara perhitungan sulit diterapkan untuk mengetahui efek aliran melingkar terutama untuk jumlah sudu yang sedikit. Cara yang paling baik untuk mengetahui efek aliran melingkar ini adalah dengan mengadakan eksperiment pada pompa dan impeller yang transparan, sehingga fenomena aliran yang melalui sudu impeller dapat terlihat.

Adanya aliran melingkar ini akan menyebabkan mengecilnya nilai  $C_2$ , sehingga head yang dibangkitkan impeller berkurang. [ Church, hal - 29 ]

### 5.2.5 Kerugian Hidrolis

Head sebenarnya yang ditimbulkan oleh pompa H adalah akan lebih kecil dari head teoritis yang telah dirumuskan dalam persamaan (52) akibat kerugian gesekan dan turbukensi.

Semua kerugian antara tempat-tempat dimana suction serta discharge pressure diukur dinamakan kerugian hidrolis.[ Ibit, hal - 33 ]

### 5.2.6 Kerugian Volumetris

Setelah fluida mengalami penekanan, maka fluida harus dihindarkan dari kebocorannya kembali ke tempat semula. Harus diperhatikan dengan adanya kerugian volumetris/kebocoran ini tidak berpengaruh pada Head pompa, tetapi mengakibatkan turunnya debit Q dan bertambahnya tenaga.

Apabila Q merupakan kapasitas dan QL merupakan jumlah besarnya kebocoran, maka efisiensi volumetris dapat dinyatakan:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + QL}$$

### 5.2.7 Kerugian Mekanis

Kerugian mekanik meliputi kerugian akibat gesekan pada bearing dan stuffing box serta mekanikal seal. Kerugian mekanik ini dapat dihitung jika detail desain bearing dan seal tersedia.

Sangat sulit menentukan secara teliti besarnya kerugian mekanik ini, tetapi secara umum diambil 2% - 4% dari BHP

### 5.2.7 Kerugian Gesekan Piringan

Tenaga yang dibutuhkan untuk memutar piringan didalam fluida disebut dengan tenaga gesekan piringan. Pada umumnya sisi-sisi impeller terendam dalam fluida dimana tenaga untuk memutarnya harus diberikan oleh penggerak. Tenaga ini akan berubah menjadi panas dan dapat menaikkan temperatur fluida.

Kerugian gesekan piringan ini terjadi sekaligus karena dua hal:

1. gesekan yang terjadi sebenarnya antara piringan dengan fluida dan fluida dengan fluida (besarnya relatif kecil)
2. Efek pemompaan.

Pada saat fluida mengadakan kontak dengan piringan/ fluida yang berada didekat piringan akibat efek sentrifugal akan terlempar keluar dan selanjutnya akan bersirkulasi kembali ke arah poros pompa untuk dipompakan kembali.

[ Ibit , hal - 29 ]



## BAB VI

### UNJUK KERJA POMPA SENTRIFUGAL

#### 6.1 KARAKTERISTIK INSTALASI

Dalam pengoperasian suatu peralatan diinginkan mempunyai efisiensi yang tinggi. Untuk memperoleh efisiensi yang tinggi diperlukan pemahaman yang cukup tentang karakteristik pompa dan perpipaannya.

##### 6.1.1 Karakteristik Pipa

Karakteristik pipa merupakan hubungan antara volume cairan yang mengalir melalui pipa tiap satuan waktu yang menyebabkan head loss. Gambar dibawah ini memperlihatkan dua macam kondisi instalasi pipa yang satu mempunyai head statis dan yang lain tidak  $H_{ps} = 0$

Head total ( $H_{pt}$ ) dalam instalasi pipa dibagi dalam:

- Head loss statis ( $H_{ps}$ )

Merupakan head akibat perbedaan tekanan, perubahan kecepatan aliran, perubahan ketinggian dan perubahan kapasitas. [ Dakso Sriyono, hal - 301 ]

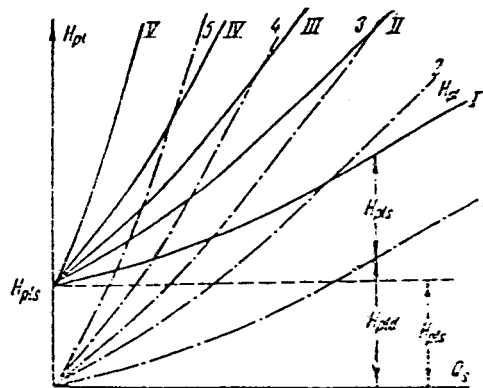
Besarnya head statis ini selalu berubah misalnya bila suatu pompa yang dipakai untuk memompa cairan dari bejana yang terbuka atau tertutup yang bertekanan.

[ Khetagurov , hal - 260 ]

- Head loss dinamis ( $H_{pkl}$ )

Merupakan besarnya head untuk mengatasi seluruh hambatan hidrolis di dalam pipa. Besarnya kerugian head dinamik berbanding dengan kuadrat dari kecepatan aliran yang melalui saluran ( pipa ), bentuk saluran ( belokan, valve, perubahan diameter pipa ).

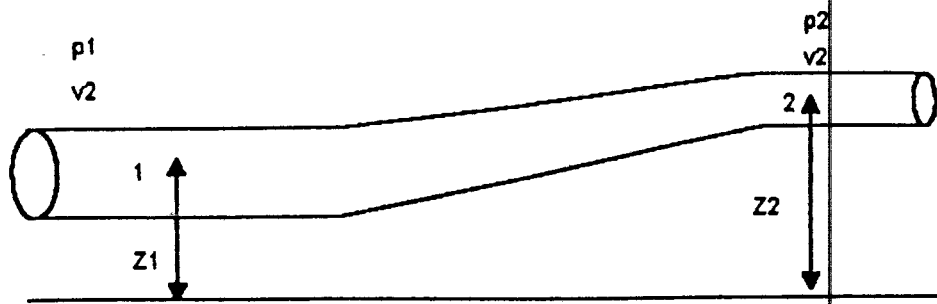
$$H_{pl} = H_{pfs} + H_{pkl}$$



Gambar 9. Kurva Head Total Instalasi

[ Khetagurov, hal-261.]

Untuk menghitung besarnya head total dari instalasi dipakai rumus persamaan energi. Persamaan energi untuk steady flow dari suatu fluida yang mengalir dari section 1 ke section 2 adalah:



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{lt}$$

Ruas kiri merupakan energi aliran fluida pada section 1

Ruas kanan merupakan energi aliran fluida pada section 2

Jadi total Head yang diperlukan untuk mengalirkan fluida dari section 1 ke section 2 adalah:

$$H_T = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + Z_2 - Z_1 + \Sigma H_{lt}$$

dimana:

$H_T$  = Head total

$P$  = Tekanan Static

$V$  = Kecepatan fluida

$Z$  = Ketinggian dari reference

$\gamma$  = Berat spesifik dari fluida

$H_{lt}$  = Total head loss sepanjang saluran

$V_2 - V_1$  : Velocity head

$Z_2 - Z_1$  : Elevation head.

### 6.1.2 Pressure Head

Suku pertama dari persamaan di atas, yaitu  $\frac{P_2 - P_1}{\gamma}$  dinamakan pressure head, yaitu head yang harus diatasi pompa karena adanya perbedaan tekanan pada suction reservoir dengan delivery reservoir. Dalam hal ini tekanan untuk suction langsung berhubungan dengan udara ( $P_1 = P_{atm}$ ). Sedang tekanan untuk saluran discharge tekanan yang terbaca pada manometer.

### 6.1.3 Static Head

Suku ke tiga yaitu  $Z_2 - Z_1$  dinamakan static head (Head Statis) merupakan perbedaan tinggi antara permukaan cairan pada suction reservoir dengan titik dimana diletakkan manometer.

### 6.1.4 Velocity Head

Suku kedua merupakan  $\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$  Velocity head yang merupakan head yang dimiliki oleh fluida akibat adanya perbedaan kecepatan antara suction dengan discharge.

### 6.1.5 Head Loss

Head loss yang ada pipa hisap maupun pipa tekan adalah akibat adanya gesekan sepanjang pipa, head loss akibat belokan, head loss akibat adanya sambungan, head loss akibat pengecilan penampang, head loss akibat valve dan head loss akibat asesoris yang lain.

### 6.1.6 Major Losses

Major losses merupakan head yang disebabkan adanya gesekan sepanjang pipa lurus berpenampang konstan.

$$H_l = f \frac{L.V^2}{D.2.g}$$

dimana:

f : Friksion faktor

L : Panjang pipa

V : Kecepatan aliran

g : Percepatan gravitasi bumi.

Untuk menentukan besarnya friksion faktor perlu diketahui terlebih dahulu bentuk aliran yang terjadi, yaitu dengan menghitung besarnya Re

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

dimana:

$\mu$  : Viskositas absolut

$\nu$  : Viskositas kinematik

$\rho$  : Density fluida

D : Diameter pipa

Apabila harga  $Re < 2300$  disebut aliran laminar

$Re = 2300$  disebut aliran interposisi.

$Re > 2300$  disebut aliran turbulent

Untuk aliran laminar harga friktion faktor hanya tergantung pada Renold Number.

$$f = 64 / Re$$

Sedang untuk aliran turbulent harga friksion faktor tergantung dari  $Re$  dan relative roughness. [Tabel 4, lampiran A - 4]

#### 6.1.7 Minor Losses

Minor losses merupakan kerugian gesekan yang disebabkan oleh adanya perubahan kondisi saluran, seperti belokan, valve, reduser, dan lain-lain.

$$H_{lm} = K \frac{V^2}{2g}$$

$$= f \frac{L_e \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

dimana:

$K$  : Koefisien minor losses

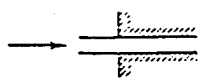
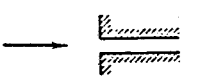
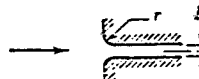
$f$  : Friksion faktor

$L_e/D$  : Panjang ekivalent.

$g$  : Percepatan grafitasi

### A. Entrance

Harga K pada pipa masuk tergantung pada bentuk ujung sisi pipa masuk.

Entrance Type		Minor Loss Coefficient, $K^*$
Reentrant		0.78
Square-edged		0.5
Rounded		$\frac{r}{D} \begin{matrix} 0.02 & 0.06 & \geq 0.15 \\ K & 0.28 & 0.15 & 0.04 \end{matrix}$

\* Based on  $h_{L_e} = K(\bar{V}^2/2)$ , where  $\bar{V}$  is the mean velocity in the pipe.

**Tabel 1. koefisien minor losses pada sisi masuk.**

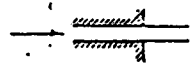
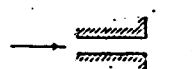
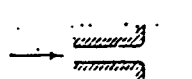
[ Fox and Mc Donald, hal-366 ]

### B. Pembesaran dan penecilan penampang.

Harga K untuk pembesaran dan pengecilan penampang dapat dilihat pada tabel 3 ,lampiran A-3

### C. Exit

Besar kecilnya harga K tergantung dari bentuk ujung keluar dari saluran.

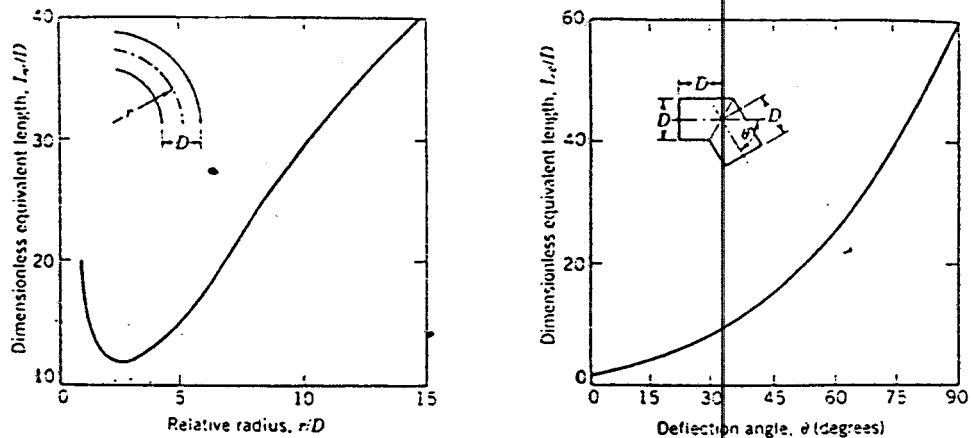
Exit Type	Diagram	Minor Loss Coefficient, $K^*$
Projecting pipe.		1.0
Square-edged		1.0
Rounded		1.0

**Tabel 2. Minor loss koefisien pada exit**

[ Ibid, hal - ]

#### D. Pipa bengkok.

Perhitungan head loss pada pipa bengkok lebih mudah bila pipa bengkok kita ekspresikan dalam panjang ekivalent pipa lurus.



**Gambar 10 panjang pipa ekuivalen pada pipa bengkok.**

[ Ibid, hal - 370 ]

### E. Elbow dan Valve

Untuk menentukan besarnya harga K dan  $L_e/D$  untuk elbow dan valve dapat dilihat pada gambar berikut.

Fitting Type	Equivalent Length, * L/D
Valves (fully open)	
Gate Valve	8 ✓
Globe valve	340
Angle valve	150
Ball valve	8
Lift check valve: globe lift	600 ✓
: angle lift	55
Foot valve with strainer: poppet disk	420
: hinged disk	75
Standard elbow: 90°	30
: 45°	15
Return bend, close pattern	50
Standard tee: flow through run	20
: flow through branch	60

\* Based on  $k_L = \int \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^3}{2}$

**Tabel 3. panjang ekuivalen dari elbow dan valve**

[ Fox and McDonald, hal - 371 ]



untuk menentukan besarnya harga tersebut dapat juga digunakan tabel 2, lampiran A - 2

[Sumber Hicks, hal-72]

## 6.2 Karakteristik Pompa Sentrifugal

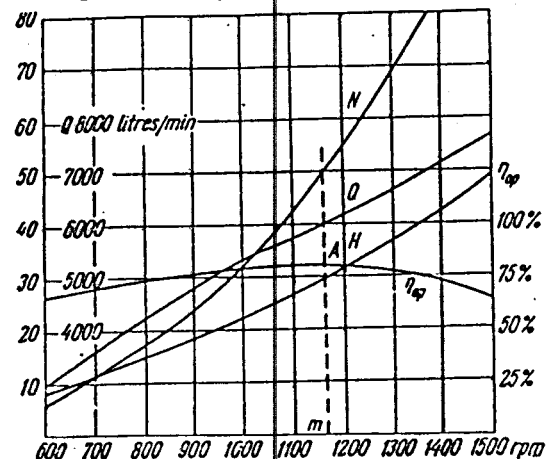
Karakteristik pompa sentrifugal merupakan hubungan fungsional dari dua parameter. Karakteristik pompa sentrifugal dapat dibedakan atas:

1. Karakteristik Utama
2. Karakteristik Kerja
3. Karakteristik Umum.

### 6.2.1 Karakteristik Utama

Karakteristik Utama merupakan prinsip karakteristik pompa yang ditunjukkan oleh hubungan antara Head (  $H$  ), dan Kapasitas (  $Q$  ) untuk berbagai putaran poros.

Gambar dibawah ini menunjukkan kurva karakteristik umum pada efisiensi yang bervariasi, yang mana garis m A menyatakan parameter yang menghubungkan efisiensi maksimum. [ Khetagurov, hal- 264 ]

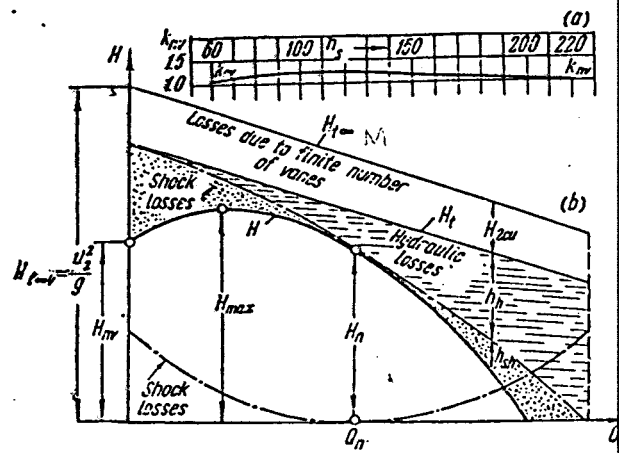


Gambar 11. Karakteristik Utama

[ Khetagurov, hal - 264 ]

### 6.2.2 Karakteristik Kerja

karakteristik Kerja merupakan karakteristik pompa dimana  $H - Q$  digambarkan untuk putaran impeller yang tetap. Gambar dibawah menunjukkan variasi head dan Kapasitas pada putaran impeller yang tetap. [ Ibid, hal - 268 ]



Gambar 12. Karakteristik Kerja

[ Ibid, hal - 268 ]

Dengan menganggap bahwa cairan bersifat ideal dan jumlah sudu tak terbatas, maka head teoritis yang dapat dihasilkan impeller pompa adalah  $H_{t\infty}$ . Mengingat adanya keterbatasan jumlah sudu, maka head teoritis  $H_{t\infty}$  harus dikurangi kerugian akibat terbatasnya jumlah sudu, yaitu dikurangi dengan  $H_{2cv}$ .  $H_{2cv}$  merupakan kerugian akibat adanya sirkulasi. Selanjutnya head teoritis dikurangi lagi akibat kerugian hidrolis ( $H_h$ ). Kerugian hidrolis ini timbul akibat cairan tidak ideal melainkan mempunyai indeks kekentalan. Untuk mendapatkan head aktual

( $H_{act}$ ), Head teoritis masih dikurangi lagi dengan kerugian akibat shock yang timbul karena pompa dioperasikan tidak pada kapasitas normalnya ( $H_{sh}$ ).

Head Aktual dapat dituliskan:

$$H_{act} = H_{th\infty} - H_{2cu} - H_h - H_{sh}$$

50

dimana:

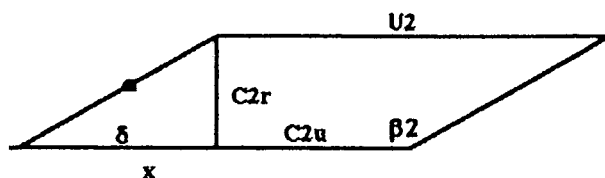
$$H_{2cu} = H_{th\infty} - H_t$$

### 1. Penggambaran Garis $H_{th\infty}$

Dibagian ini akan dijelaskan hubungan  $H_{th\infty} = f(Q)$ , yang diambil dari persamaan Euler. Jika harga  $C_{1u} \ll 0$ , maka,

$$H_{th\infty} = \frac{1}{g} (U_2 \cdot C_{2u} - U_1 \cdot C_{1u})$$

51



$$C_{2u} = U_2 - x$$

dimana:  $C_u = V_r$

$$x = V_r \cdot \cot (180 - \beta_2)$$

$$x = -V_r \cdot \cot \beta_2$$

dari persamaan Bernoulli didapatkan:

$$Q = V_r \cdot A$$

$$V_r = \frac{Q}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2}$$

maka;

$$C_{2u} = U_2 + \frac{Q \cdot \cot \beta_2}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2}$$

Analog cara diatas untuk saluran masuk didapatkan:

$$C_{1u} = U_1 + \frac{Q \cdot \cot \beta_1}{\pi \cdot D_1 \cdot b_1}$$

substitusikan ke persamaan Euler, maka didapatkan;

$$H_{t\infty} = \left[ \frac{1}{g} (U_2^2 + U_2 \cdot \frac{Q \cdot \cot \beta_2}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2}) - \frac{1}{g} (U_1^2 + U_1 \cdot \frac{Q \cdot \cot \beta_1}{\pi \cdot D_1 \cdot b_1}) \right]$$

52

Dimana:

$U_2$  : Kecepatan relatif pada saluran keluar.

$U_1$  : Kecepatan relatif pada saluran masuk.

$Q$  : Kapasitas aliran.

$D_2$  : Diameter luar impeller

$D_1$  : Diameter dalam impeller

$b_2$  : Lebar laluan impeller bagian keluar

$b_1$  : Lebar laluan impeller bagian masuk

dari rumusan diatas dapat dijelaskan bahwa;

untuk  $Q = 0$ , didapat  $H_{t\infty} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{g}$  dan digambarkan oleh titik A. Selanjutnya kita

hitung  $H_{t\infty}$  untuk  $Q = Q_a$  maka kita dapatkan titik M.

jadi kurva dari persamaan tersebut merupakan garis linear.

## 2. Menggambar garis $H_{th} = f(Q)$

Mengingat adanya keterbatasan jumlah sudu dan sudu mempunyai ketebalan, maka akan menimbulkan adanya sirkulasi yang merupakan suatu kerugian. Sehingga besarnya Head yang dapat dibangkitkan oleh impeller turun menjadi  $H_{th}$ .

$$H_t = k_{2cu} H_{t\infty}$$

52

dimana:

$k_{2cu}$  : faktor sirkulasi.

Untuk harga  $k_{2cu}$  dapat dicari persamaan yang diberikan oleh Prof. C. Pfleiderer.

[ Khetagurov, hal - 230 ]

$$K_{2cu} = \frac{1}{1 + 2 \frac{\varphi_u}{Z_v} \frac{1}{1 \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}}$$

dimana :

$K_{2cu}$  = Faktor sirkulasi

$\varphi_u$  = Faktor koreksi

$$\varphi_u = (0.55 - 0.65) + 0.6 \sin (180 - \beta_2)$$

Garis  $H_t = f(Q)$  merupakan garis linear yang sejajar dengan garis  $H_{t\infty}$

Dalam perhitungan  $H_t$  dapat juga menggunakan persamaan  $H_t$  dengan jumlah sudu yang terbatas dan tebal dari sudu diperhitungkan.

$$H_{t\infty} = \left[ \frac{1}{g} (U_2^2 + U_2 \cdot \frac{Q \cdot \cot \beta_2}{A_2}) - \frac{1}{g} (U_1^2 + U_1 \cdot \frac{Q \cdot \cot \beta_1}{A_1}) \right]$$

Dimana :

$$A_1 = \pi \cdot d_1 \cdot b_1 - \delta_1 \cdot b_1 \cdot Z_v$$

$$A_2 = \pi \cdot d_2 \cdot b_2 - \delta_2 \cdot b_2 \cdot Z_v$$

A = Luasan yang dialului cairan

$d_1$  = Diameter sisi masuk

$d_2$  = Diameter sisi keluar

$b_1$  = Lebar sudu sisi masuk

$b_2$  = Lebar sudu sisi keluar

$\sigma$  = Tebal sudu

$Z_v$  = jumlah sudu

### 3. Penggambaran garis/kurva $H_{sh} = f(Q)$ .

$H_{sh}$  merupakan kerugian akibat adanya gesekan antar fluida dan fluida dengan impeller. Untuk menggambarkan garis ini dapat dirumuskan:

$$H_{sh} = \frac{k_{sh}}{2 \cdot g} \left[ U_1 + \left( U_2 \cdot k_{2cu} \cdot \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right] \left( 1 - \frac{Q}{Q_n} \right)^2$$

53

dimana:

$k_{sh}$  = Ketetapan untuk shock losses

$$= 0,6 - 0,8$$

$k_{2cu}$  = faktor sirkulasi .

$D_2$  = diameter out-let

$D_3$  = Diameter Volute yang terdekat dengan impeller

$$= 1.05 \cdot D_2$$

$Q$  = Kapasitas pengoperasian pompa

$Q_n$  = Kapasitas normal

[ *Ibid*, hal - 267 ]

#### 4. Penggambaran garis $H_h = f(Q)$

$H_h$  merupakan kerugian hidrolis yang disebabkan karena fluida tidak ideal (mempunyai viskositas).

Sedang besarnya dapat dirumuskan:

$$H_h = (1 - \eta_h) H_{th} \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2 \quad (\text{Ibit, hal - 267})$$

54

dimana  $\eta_h$ : efisiensi hidrolis.

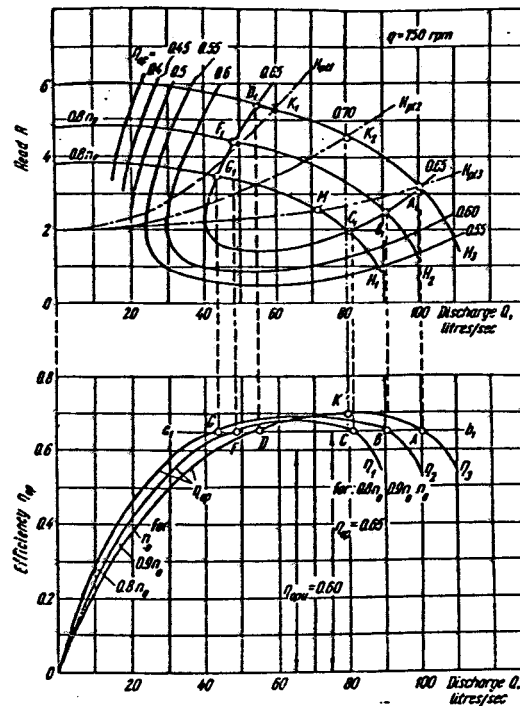
ns	10	15	20	30	50	100
$\eta_h$	0.86	0.91	0.94	0.96	0.97	0.98

**Tabel 4. Barga Efisiensi Hidrolis**

[ Dakso Sriyono, hal - 258 ]

#### 6.2.3 Karakteristik Umum

Karakteristik umum merupakan gabungan antara karakteristik utama dan karakteristik kerja, sehingga akan didapatkan garis isoeisiensi. Gambar dibawah ini menunjukkan karakteristik umum dari pompa sentrifugal.



Gambar 13. Karakteristik Umum

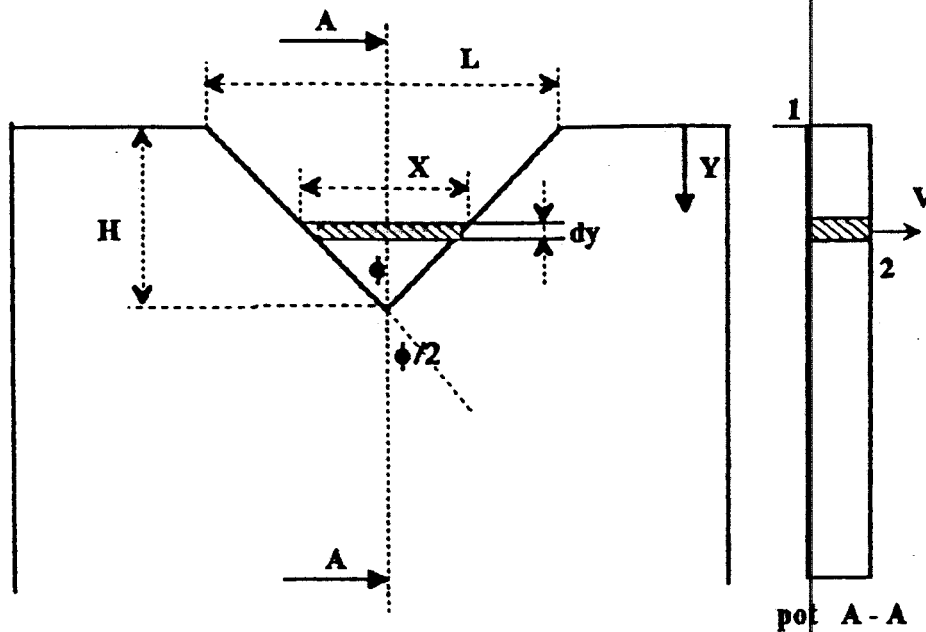
[ Khetagurov, hal - 270 ]

Untuk pompa yang bersangkutan pada putaran desainnya ( No ) akan mempunyai efisiensi total yang maksimal apabila dipasang pada instalasi pipa dengan karakteristik  $H_{pl2}$ . Apabila putaran impeller berubah menjadi 0,9 No, kemudian 0,8 No, maka karakteristik pompa akan berubah berturut-turut  $H_2$  dan  $H_1$  dan apabila dipasang pada instalasi pipa yang sama karakteristiknya  $H_{pl2}$ , maka titik kerjanya mengalami pergeseran menuju kearah efisiensi yang rendah. Pada putaran No apabila karakteristik pipa berubah ke arah efisiensi diubah menjadi  $H_{pl1}$  dan  $H_{pl2}$ , maka titik kerjanya berubah kearah efisiensi yang rendah.

### 6.3 Perhitungan Kapasitas (Q)

Dalam penelitian yang dilakukan, debit diukur berdasar limpahan atau dengan metode *Triangular V-notch weir*. [ Daugherty & Franzini, hal - 371 ]





Ditinjau pada titik 1 - 2, dengan menggunakan rumus Bernoulli dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

dimana:

$P_1, P_2$  : Tekanan pada titik 1, 2

$\gamma$  : Berat spesifik

$Z_1, Z_2$  : Ketinggian statis pada titik 1, 2

$V_1, V_2$  : Kecepatan aliran pada titik 1, 2

$g$  : Percepatan gravitasi

Dari gambar diatas diasumsikan

$$V_1 = 0$$

$P_1 = P_2 = P_{atm}$ , sehingga;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g} + Z_2$$

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2.g} + Z_2$$

Dimana:

$$Z_1 = H$$

$$Z_2 = H - Y$$

sehingga:

$$H = \frac{V_2^2}{2.g} + (H - Y)$$

$$Y = \frac{V_2^2}{2.g} \text{ atau } V_2^2 = 2.g.Y$$

$$V_2 = \sqrt{2.g.Y}$$

maka kapasitas yang terukur:

$$dQ = V.dA$$

$$Q = Cd \int V.dA$$

$$Q = Cd \int V_2.X.dy$$

Dengan perbandingan kesebangunan didapat:

$$\frac{X}{H-Y} = \frac{L}{H} \Leftrightarrow X = \frac{L}{H} (H-Y)$$

Sehingga,

$$Q = Cd \int_0^H \sqrt{2.g.Y} \cdot \frac{L}{H} (H-Y) dy$$

$$Q = Cd \frac{L}{H} \int_0^H \sqrt{2g} \cdot Y^{\frac{1}{2}} (H - Y) dy$$

$$Q = Cd \frac{L}{H} \sqrt{2g} \cdot \int_0^H Y^{\frac{1}{2}} (H - Y) dy$$

$$Q = Cd \frac{L}{H} \cdot \sqrt{2g} \int_0^H (HY^{\frac{1}{2}} - Y^{\frac{3}{2}}) dy$$

$$Q = Cd \frac{L}{H} \cdot \sqrt{2g} \left[ \frac{2}{3} H Y^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{5} Y^{\frac{5}{2}} \right]_0^H$$

$$Q = Cd \frac{L}{H} \cdot \sqrt{2g} \left( \frac{2}{3} H^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{5} H^{\frac{5}{2}} \right)$$

$$Q = Cd \cdot 2Tg^{\frac{1}{2}} \cdot \sqrt{2g} \left( \frac{4}{15} H^{\frac{5}{2}} \right)$$

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot Tg^{\frac{1}{2}} \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2 \times 9,8} \cdot 1 \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = 2.361 \times Cd \times H^{5/2} \quad m^3/dt$$

dimana:

$Cd$  : Coefficient for triangular weir.

#### 6.4 Daya Motor Penggerak Pompa (BHP)

BHP merupakan daya yang dibutuhkan poros untuk menggerakkan pompa, yang dihitung berdasarkan torsi yang timbul pada poros pompa

$$T = \frac{P}{\omega} \quad [Dakso sriyono, hal - 260]$$

$$P = T \cdot \omega$$

dimana:

$$T = W.L$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

sehingga;

$$P = \frac{W.L.2.\pi.N}{60}$$

dimana:

- W : Beban pada balance (Kg)  
 L : Panjang lengan balance (m)  
 N : Putaran motor (Rpm)

### 6.5 Daya Motor (Ni)

Daya motor penggerak pompa didapat dari instalasi listrik:

[ Church, hal- 186 ]

$$\begin{aligned} NI &= V.I \cos \phi \quad (\text{Watt}) \\ &= \frac{V.I \cos \phi}{746} \quad (\text{Hp}) \end{aligned}$$

dimana:

- V : Tegangan listrik (Volt)  
 $\cos \phi$  : Faktor daya  
           : Faktor daya dapat diambil 0.80  
 I : Arus listrik (Amper)

### 6.6 Water Horse Power (WHP)

Water Horse Power merupakan daya yang dibutuhkan pompa untuk memindahkan fluida dari satu tempat ketempat lain yang lebih tinggi. WHP disebut

juga dengan fluida horse power, yaitu tenaga yang dibutuhkan untuk mengatasi fluida pada pompa tersebut.

$$WHP = \gamma \cdot Q \cdot H_{ep} \quad \text{Watt} \quad [ \text{Dakro Srijono, hal - 242} ]$$

Dimana:

WHP	: Daya pemompaan	(Watt)
$\gamma$	: Berat jenis fluida	(Kg/m <sup>3</sup> )
Q	: Kapasitas aktual	(m <sup>3</sup> /dt)
H <sub>ep</sub>	: Head efektif pompa	(m)

### 6.7 Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan antara daya yang dibutuhkan untuk mengatasi fluida pada pompa dengan daya yang diberikan pada poros pompa dikalikan dengan 100% .

Efisiensi tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{pompa} = \frac{WHP}{BHP} \times 100\% \quad [ \text{Church, hal - 108} ]$$

## BAB VII

### PERHITUNGAN UNJUK KERJA POMPA

Perhitungan unjuk kerja pompa disini terdiri dari dua kondisi perhitungan yaitu perhitungan untuk kondisi ideal dan kondisi aktual. Dimana untuk masing-masing perhitungan menghitung setiap kondisi impeller ( standart, dipotong 4 mm, dipotong 8 mm, dan dipotong 12 mm ).

Perhitungan yang dibahas disini hanya merupakan perhitungan untuk kondisi standart saja, sedang hasil perhitungan untuk impeller kondisi lain ditabelkan.

#### 7.1 PERHITUNGAN KONDISI IDEAL

Perhitungan head aktual yang dibangkitkan impeller yang diberikan dalam perhitungan dibawah ini diambil dari kondisi standar, yang berarti impeller belum diadakan pemotongan.

[ Gambar Impeller Kondisi Standart dapat dilihat pada gambar 6 , lampiran C - 79 ]

Dimensi impeller: [ tabel 21, lampiran B - 73 ]

Pada saluran masuk

$$D_1 = 6.2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$b_1 = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$Z_v = 6$$

$$\delta_1 = 35^\circ$$

$$\sigma_1 = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Pada saluran keluar

$$D_2 = 1.74 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$D_3 : 0.1827 \text{ m}$$

$$b_2 = 7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$Z = 6$$

$$\beta_2 = 155^\circ$$

$$\delta_2 = 25^\circ$$

$$\sigma_2 = 9 \times 10^{-3} \text{ m}$$

**\* Data Pompa**

Putaran (N) : 1450 Rpm

Kapasitas Normal (Qn) : 5.5 m<sup>3</sup>/hr

Total Head (H) : 8.95 m

Pada penelitian ini pompa dioperasikan pada putaran 1150, sehingga:

$$Q_n = (1150/1450) \times 5.5$$

$$= 4.362 \text{ m}^3/\text{hr} = 1.211 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{det)}$$

### A. Menghitung Hth = f(Q)

$$H_{th} = \frac{U_2 \cdot C_{2u} - U_1 \cdot C_{1u}}{g}$$

jika  $C_{1u} \neq 0$

$$H_{th} = \left( \frac{U_2^2}{g} + \frac{U_2 \cdot Q \cdot \cot \beta_2}{g \cdot A_2} \right) - \left( \frac{U_1^2}{g} + \frac{U_1 \cdot Q \cdot \cot \beta_1}{g \cdot A_1} \right)$$

### Menghitung harga $C_{1u}$

Besarnya kecepatan keliling.

$$U_1 = \frac{\pi \times d_1 \times N}{60}$$

$$U_1 = \frac{3.14 \times 6,2 \times 10^{-2} \times 1150}{60} = 3,731367 \text{ m/s}$$

$$U_2 = \frac{\pi \times d_2 \times N}{60}$$

$$U_2 = \frac{3.14 \times 1,74 \times 10^{-1} \times 1150}{60} = 10,4719 \text{ m/s}$$

Besarnya Kecepatan Absolut Saluran Masuk.

$$C_{1r} = \frac{Q_n}{A_1}$$

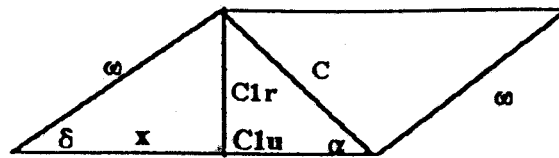
$$A_1 = \pi \cdot d_1 \cdot b_1 - \sigma_1 \cdot b_1 \cdot Z_v$$

$$= 3.14 \times 6,2 \times 10^{-2} \times 1,5 \times 10^{-2} - 3 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 10^{-2} \times 6$$

$$= 26,502 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$C_{1r} = \frac{1,211 \times 10^{-3}}{26,502 \times 10^{-4}} = 0,4569 \text{ m/s}$$





$$\omega_1 = \frac{C1r}{\sin \delta_1} = \frac{0,4569}{\sin 35}$$

$$= 0,79658 \text{ m/s}$$

$$X = \omega_1 \cdot \cos \delta_1$$

$$= 0,79658 \cdot \cos 35$$

$$= 0,6525 \text{ m/s}$$

maka harga  $C_{1u} = U_1 - X$

$$= 3,731367 - 0,6525$$

$$= 3,0788 \text{ m/s}$$

Sedang besarnya sudut  $\alpha_1$  :

$$\text{Tg } \alpha_1 = \frac{C1r}{C1u} = \frac{0,4569}{3,0788}$$

$$= 0,1484$$

$$\alpha_1 = 8,44^\circ$$

Besarnya Kecepatan Absolut Saluran Masuk.

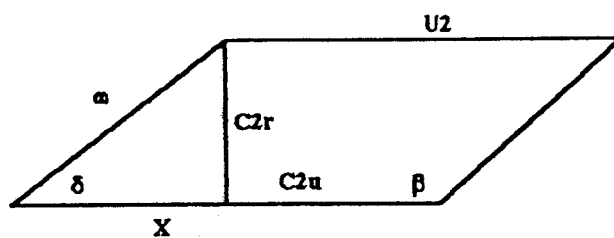
$$C_{2r} = \frac{Q_n}{A_2}$$

$$A_2 = \pi \cdot d_2 \cdot b_2 - \sigma_2 \cdot b_2 \cdot Z_v$$

$$= 3.14 \times 1,74 \times 10^{-1} \times 7 \times 10^{-3} - 9 \times 10^{-3} \times 7 \times 10^{-3} \times 6$$

$$= 38,2452 \times 10^{-4} - 3,78 \times 10^{-4}$$

$$= 34,4652 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$



$$C_{2r} = \frac{1,211 \times 10^{-3}}{3,44652 \times 10^{-3}} = 0,351 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \omega_2 &= \frac{C_{2r}}{\sin \delta_2} = \frac{0,351}{\sin 25} \\ &= 0,83 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= \omega_2 \cdot \cos \delta_2 \\ &= 0,83 \cdot \cos 25 \\ &= 0,7527 \text{ m/s} \end{aligned}$$

maka harga  $C_{2u} = U_2 - X$

$$\begin{aligned} &= 10,4719 - 0,7527 \\ &= 9,7192 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Sedang besarnya sudut  $\alpha_2$  :

$$\text{Tg } \alpha_2 = \frac{C2r}{C2u} = \frac{0,351}{9,7192}$$

$$= 0,03646$$

$$\alpha_2 = 2,068^\circ$$

**Head Teoritis Dengan Jumlah Sudu Terbatas**

$$H_{t1} = \left[ \frac{U_2^2}{g} + \frac{U_2 \cdot Q \cdot \text{Cot } 160}{g A_2} \right] - \left[ \frac{U_1^2}{g} + \frac{U_1 \cdot Q \cdot \text{Cot } 145}{g A_1} \right]$$

$$H_{t1} = \left[ \frac{10,4719^2}{9,8} + \frac{10,4719 \times Q \times \text{Cot } 155}{9,8 \times 3,44652 \times 10^{-3}} \right] - \left[ \frac{3,731367^2}{9,8} + \frac{3,731367 \times Q \times \text{Cot } 145}{9,8 \times 2,6502 \times 10^{-3}} \right]$$

$$= [11,18986 - 664,884 Q] - [1,4207 - 205,1806 Q]$$

$$= 9,76916 - 459,7034Q$$

Untuk  $Q = 1.211 \times 10^{-3}$ ,  $H_{t1} = 9,2124$  meter

**B. Head Loss Akibat shock**

$$H_{sh} = \frac{k_{sh}}{2g} \left[ U_1^2 + \left( U_2 \cdot K_{2cu} \cdot \frac{D_2}{D_3} \right)^2 \cdot \left( 1 - \frac{Q}{Q_n} \right)^2 \right]$$

Menghitung K2cu

$$K2cu = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot \phi u}{Zv \left( 1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right)}}$$

$$\phi u = 0.55 + 0.6 \sin (180 - 155)$$

$$= 0.55 + 0.2535$$

$$= 0.8035$$

$$K2cu = \frac{1}{1 + \frac{2 \times 0.8035}{6 \left( 1 - \left( \frac{0.062}{0.174} \right)^2 \right)}}$$

$$K2cu = 0.765$$

$$Ksh = 0,6 [ Khetagurov, hal - 267 ]$$

$$D_3 = 0,1827 \text{ m}$$

$$Hsh = \frac{0,6}{2 \times 9,8} \left[ 3,731367^2 + \left( 10,4719 \times 0,765 \times \frac{0,174}{0,1827} \right)^2 \cdot \left( 1 - \frac{Q}{1,211 \times 10^{-3}} \right)^2 \right]$$

$$Hsh = 2,208146 \times \left( 1 - \frac{Q}{1,211 \times 10^{-3}} \right)^2$$

Untuk  $Q = 1.211 \times 10^{-3}$ ,  $Hsh = 0$  mater.

C. Menghitung  $H_h = f(Q)$ 

$$H_h = (1 - \eta_h) H_{t1} \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2$$

menghitung besarnya  $\eta_h$  berdasar  $n_s$

$$n_s = 3.65 \times \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H_{t1}^{\frac{3}{4}}}$$

$$n_s = 3.65 \times \frac{1150 \cdot \sqrt{1.211 \times 10^{-3}}}{9.2124^{\frac{3}{4}}}$$

$$n_s = 27,623 \text{ 1/menit.}$$

sehingga akan didapatkan  $\eta_h = 0,95524$  [ Tabel 4, hal - 69 ]

$$H_h = (1 - 0.95524) H_{t1} \left( \frac{Q}{1.211 \times 10^{-3}} \right)^2$$

Untuk  $Q = 1.211 \times 10^{-3}$ ,  $H_h = 0.4123$  meter.

## D. Menghitung Head Yang Dibangkitkan Impeller

$$H_{ideal} = H_{t1} - H_{sh} - H_h$$

$$= 9,2124 - 0 - 0.4123$$

$$= 8.8001 \text{ meter.}$$

## 7.2 PERHITUNGAN HEAD AKTUAL POMPA SENTRIFUGAL

Dalam penelitian ini pembacaan dilakukan sebanyak 10 kali untuk satu keadaan dengan pencatatan setiap 2 menit. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data yang lebih baik. Sedang untuk perhitungannya diambil harga rata-ratanya. Impeller yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai 4 bentuk yang sama dengan diameter luar yang bervariasi.

### 7.2.1. Perhitungan Head Pompa Sentrifugal (Hep)

Data: [ Lihat data 16, lampiran B - 24 )

$$\begin{aligned} H &= 6.75 \text{ cm} \\ &= 0.0675 \text{ m} = 0.22 \text{ feet. ( dari tabel 8 , lampiran A - 8 )} \end{aligned}$$

Cd diperoleh 0.5982 )

$$D1 = 1.5'' = 0.0381 \text{ m}$$

$$D2 = 1'' = 0.0254 \text{ m}$$

$$P2 = 0.103 \text{ Bar} = 1.03 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$v = 8.8 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$W = 1.23 \text{ Kg}$$

$$L = 36 \text{ Cm} : 0.36 \text{ m}$$

$$N = 1150 \text{ Rpm.}$$

#### A. Menghitung Kapasitas Air (Q)

$$\begin{aligned} Q &= 2,361 \times Cd \times H^{5/2} \\ &= 2,361 \times 0,5982 \times 0,0675^{5/2} \\ &= 1,6719 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

**B. Kecepatan Aliran Di dalam Pipa****# . Pipa Suction.**

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4 \times Q}{\pi D_1^2}$$

$$V_1 = \frac{4 \times 1,6719 \times 10^{-3}}{3,14 \times (0,0381)^2}$$

$$V_1 = 1,467176 \text{ m/s}$$

**# . Pipa Discharge.**

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{4 \times Q}{\pi D_2^2}$$

$$V_2 = \frac{4 \times 1,6719 \times 10^{-3}}{3,14 \times (0,0254)^2}$$

$$= 3.301146 \text{ m/s}$$

**C. Reynold Number.**

$$Re_1 = \frac{V_1 \times D_1}{\nu}$$

$$Re_1 = \frac{1,467176 \times 0,0381}{8,8 \times 10^{-7}}$$

$$= 63522.05$$

$$Re_2 = \frac{V_2 \times D_2}{\nu}$$

$$Re_2 = \frac{3.301146 \times 0,0254}{8,8 \times 10^{-7}}$$

$$= 95283.08$$

**D. Kerugian pada saluran pipa suction.**

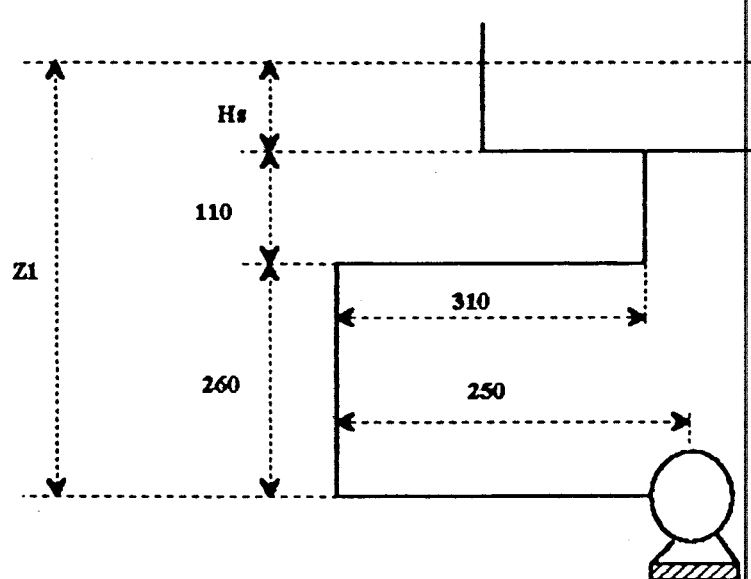
**\* Mayor Losses**

Untuk  $Re = 63522.05$

$$D_1 = 1,5''$$

Bahan pipa Commercial Steel

maka, didapat  $f_1 = 0.0242$ . [ Lihat tabel 4 , lampiran A - 4 ]



$$Z_1 = 260 + 110 + H_s \quad (\text{mm})$$

$$Z_1 = 0.37 + H_s$$



$$Z_1 = 0.37 + 0.103 = 0.473 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pipa, } L_1 = 250 + 260 + 310 + 110 = 930 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0.93 \text{ m}$$

$$Hf_1 = f \cdot l \cdot \frac{V_1^2}{D_1 \cdot 2 \cdot g}$$

$$\begin{aligned} Hf_1 &= 0.0242 \times \frac{0.93 \times 1.467176^2}{0.0381 \cdot 2 \times 9.8} \\ &= 0.064876 \text{ m} \end{aligned}$$

**\* Minor Losses ( $Hf_2$ )**

Data instalasi:

[Harga  $Le/D$  dan  $k$ , lihat tabel 3. , hal - 56 ]

- Entrance Type Square edged,  $k = 0.5$

- 3 buah elbow,  $Le/D = 3 \times 30 = 90$

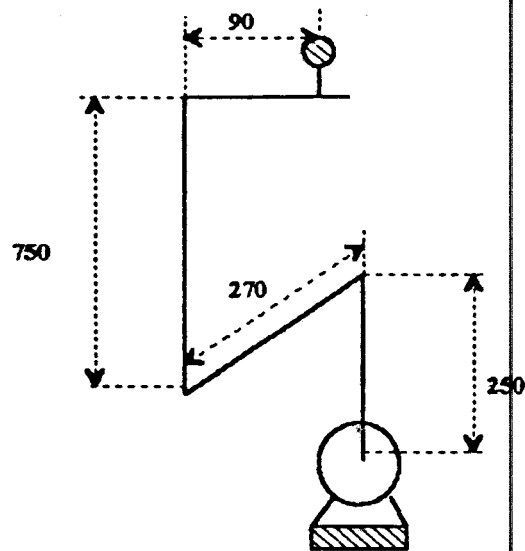
- Gate Valve Full Open,  $Le/D = 8$

Sehingga:

$$Hf_2 = k \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + f \cdot l \cdot \Sigma Le/D \times \frac{V_1^2}{2 \cdot g}$$

$$\begin{aligned} Hf_2 &= 0.5 \cdot \frac{1.467176^2}{2 \times 9.8} + 0.0242 \times (90 + 8) \times \frac{1.467176^2}{2 \times 9.8} \\ &= 0.315379 \text{ m} \end{aligned}$$

### E. Kerugian Pada Pipa Discharge



$$Z_2 = 250 + 750 = 1000 \text{ mm}$$

$$= 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang pipa, } L_2 &= 250 + 270 + 750 \\ &= 1360 \text{ mm} = 1.36 \text{ mm} \end{aligned}$$

\* Mayor Losses ( $HL_3$ )

Untuk  $Re_2 = 95283.08$

$$D_2 = 1''$$

Bahan Commercial steel

maka, didapat  $f_2 = 0.0243$  [ tabel 4, lampiran A - 4]

$$HL_3 = f_2 \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$HL_2 = 0.0243 \frac{1.36}{0.0254} \cdot \frac{3.301146^2}{2 \times 9.8}$$

$$= 0.723411 \text{ m}$$

\* Minor Losses ( $HL_4$ ) [ tabel 4. hal - 56 ]

- 3 Buah Elbow,  $Le/D = 3 \times 30 = 90$

Sehingga:

$$HL_4 = f_2 \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$HL_4 = 0.0243 \times 90 \times \frac{3.301146^2}{2 \times 9.8}$$

$$= 1.215968 \text{ m}$$

**F. Head Total pada instalasi**

$$H_{lt} = HL_1 + HL_2 + HL_3 + HL_4$$

$$= 0.064876 + 0.315379 + 0.723411 + 1.215968 = 2.319633 \text{ m}$$

**Head Efektif Pompa (Hep)**

$$Hep = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \times g} + Z_2 - Z_1 + H_t$$

$$Hep = \frac{1.03 \times 10^4}{997 \times 9.8} + \frac{3.301146^2 - 0^2}{2 \times 9.8} + 1 - 0.473 + 2.319633$$

$$= 4.456814 \text{ m}$$

### 7.2.2. Perhitungan Daya Motor (Ni)

$$\begin{aligned} Ni &= V \cdot I \cdot \cos\phi \\ &= 240.5 \times 4.8 \times 0.8 \\ &= 923,52 \text{ watt} \end{aligned}$$

### 7.2.3. Perhitungan Brake Horse Power (BHP)

Diketahui beban ( W ) saat pompa tidak beroperasi 0.5 Kg.

$$\begin{aligned} BHP &= \frac{W \cdot L \cdot 2 \cdot \pi \cdot N}{60} \\ BHP &= \frac{(1.23 - 0.5) \cdot 0.36 \times 2 \times 3.14 \times 1150}{60} \\ BHP &= 31.63236 \quad \text{Watt} \end{aligned}$$

### 7.2.4. Perhitungan Water Horse Power (WHP)

$$WHP = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (\text{Watt})$$

$$WHP = 997 \times 4,456814 \times 1,6719 \times 10^{-3}$$

$$WHP = 7.4289 \quad \text{Watt}$$

### 7.2.5. Perhitungan Efisiensi Pompa ( $\eta_{\text{eff}}$ )

$$\begin{aligned} \eta_{\text{eff}} &= \frac{WHP}{BHP} \times 100 \% \\ &= \frac{7.4289}{31.63236} \\ &= 23.48 \% \end{aligned}$$

## BAB VIII

### ANALISA UNJUK KERJA POMPA SENTRIFUGAL

Analisa merupakan evaluasi dari pengamatan yang telah digambarkan pada grafik.. Dalam menganalisa grafik dibahas mengenai unjuk kerja pompa sentrifugal yang telah diuraikan pada bab 6 serta hubungannya terhadap pengaruh perubahan diameter luar impeller yang terjadi pada pompa sentrifugal. Analisa yang dibahas disini dapat dibedakan atas analisa dalam kondisi ideal dan kondisi aktual.

#### 8.1 ANALISA KONDISI IDEAL

Analisa kondisi ideal dibahas tentang hubungan antara kapasitas dengan head yang dibangkitkan impeller pompa sentrifugal. Analisa kondisi aktual berfungsi untuk mendapatkan head yang dibangkitkan oleh impeller pompa sentrifugal sebagai acuan untuk pemotongan impeller. Di mana dalam pemotongan diharapkan pada setiap kondisi mempunyai grafik yang tidak berhimpit.

Grafik hubungan kapasitas dan head ideal secara umum untuk semua kondisi dengan naiknya kapasitas, head yang dibangkitkan impeller akan naik sampai mencapai kapasitas normalnya. Setelah mencapai kapasitas normalnya head akan turun. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : Pada kondisi katup tertutup (shut-off) head pompa dipengaruhi oleh kerugian akibat shock (head shock), dimana dengan naiknya kapasitas kerugian tersebut turun sampai kapasitas normalnya. Tetapi jika kapasitas pompa dinaikkan, maka besarnya kerugian tersebut akan naik

Menurunnya head tersebut juga disebabkan adanya kerugian hidrolis yang makin besar dengan naiknya kapasitas.

Pemotongan diameter impeller akan menyebabkan kapasitas dan head yang dihasilkan impeller pompa sentrifugal turun. Hal ini karena pemotongan diameter luar impeller akan menyebabkan turunnya harga kecepatan keliling ( $U_2$ ), luasan laluan antar sudu impeller (  $A$  ) yang makin besar serta naiknya head akibat shock dan hidrolis.

## 8.2 ANALISA KONDISI AKTUAL

### A. Analisa Kapasitas-Head Efektif Pompa

Dari grafik kapasitas ( $Q$ ) - head efektif (  $H$  ) untuk kondisi standart head yang dibangkitkan menunjukkan adanya shock yang kecil. Sedang kondisi 1, kondisi 2 dan kondisi 3 dilihat adanya kenaikan head dari keadaan katup tertutup (shutt-off) sampai mencapai kapasitas normalnya. Setelah mencapai keadaan tersebut dengan naiknya kapasitas, head akan berangsur-angsur turun. Hal ini karena pada kondisi tersebut impeller mempunyai kerugian shock yang besar dibanding kondisi 1. Adanya kerugian shock tersebut karena sudut masuknya aliran telah berubah dari kondisi idealnya.

Secara umum dengan pemotongan diameter luar impeller akan didapatkan penurunan head efektif. Penurunan head efektif ini karena tekanan yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal turun akibat luasan saluran keluar makin besar. Selain itu pemotongan diameter luar impeller dapat menurunkan kecepatan kaliling. Pemotongan impeller juga menyebabkan head statik dan head dinamik turun .

### **B. Analisa Kapasitas-Water Horse Power**

Dari grafik kapasitas-WHP untuk kondisi standart menunjukkan adanya kenaikan WHP. Hal ini disebabkan oleh diameter instalasi yang digunakan tidak sesuai dengan kapasitas pompa yang dihasilkan. Sedang untuk kondisi 1, kondisi 2, dan kondisi 3 WHP akan terus naik, sampai kapasitas normalnya. Setelah mencapai keadaan tersebut WHP akan turun. Hal ini karena naiknya kapasitas yang tidak sebanding lagi dengan penurunan head ( head turun lebih drastis dari pada kenaikan kapasitas )

Untuk kapasitas yang sama, dengan pemotongan diameter impeller akan menurunkan harga WHP. Hal karena adanya penurunan kapasitas dan head yang dibangkitkan oleh pompa ( lihat kondisi standart, 1,2 dan 3 ).

### **C. Analisa Kapasitas-Brake Horse Power**

Pada kondisi standart, 1,2 dan 3 secara umum dengan naiknya kapasitas menyebabkan harga BHP naik. Hal ini karena dengan naiknya kapasitas akan menyebabkan torsi yang digunakan untuk memutar poros pompa sentrifugal makin tinggi. Untuk kapasitas yang sama dengan pemotongan diameter luar impeller pompa sentrifugal akan didapatkan BHP yang kecil. Hal ini karena head dan kapasitas yang dibangkitkan pompa sentrifugal turun.

### **D. Analisa Kapasitas-Efisiensi**

Dari grafik kapasitas-efisiensi untuk kondisi standart efisiensi pompa akan naik terus dengan naiknya kapasitas pompa. Hal ini karena kondisi instalasi yang

tidak sesuai dengan kapasitas pompa yang dihasilkan. Jika terdapat kecocokkan, dengan naiknya kapasitas, garis efisiensi naik sampai kapasitas normalnya.

Pemotongan diameter impeller akan merubah efisiensi maksimum dan titik kerja pompa sentrifugal. Grafik efisiensi akan cenderung turun dan bergeser ke kiri. Penurunan efisiensi ini akibat head dan kapasitas yang dibangkitkan oleh pompa sentrifugal makin turun sedangkan daya poros penggerak pompa makin naik dengan naiknya kapasitas.



## BAB IX

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasar analisa dari unjuk kerja pompa sentrifugal dapat disimpulkan bahwa dengan pemotongan diameter luar impeller akan menurunkan unjuk kerja pompa sentrifugal. Unjuk kerja pompa sentrifugal turun akibat kemampuan pompa untuk menghasilkan head dan kapasitas sangat rendah sedang daya penggerak poros pompa semakin naik.

Pemotongan impeller pompa sentrifugal menyebabkan Water Horse Power turun akibat penurunan head dan kapasitas. Penurunan head dan kapasitas tersebut akibat tekanan yang dihasilkan pompa makin turun. Turunnya head dan kapasitas juga disebabkan oleh luasan antar laluan sudu makin lebar, mengecilnya sudut keluar impeller pompa sentrifugal. Pemotongan diameter luar impeller akan menimbulkan shock, yang diakibatkan sudut aliran masuk berubah dari keadaan idealnya.

Pemotongan diameter impeller juga menyebabkan turunnya efisiensi maksimum pompa sentrifugal. Hal tersebut mengakibatkan berubahnya titik kerja pompa sentrifugal yang baru. Efisiensi turun akibat daya penggerak poros yang makin tinggi dengan naiknya kapasitas, sedang water horse power yang dihasilkan makin turun.

Pengembangan selanjutnya penelitian dapat dilakukan untuk mencari pemotongan diameter luar yang tepat untuk mendapatkan head dan kapasitas yang diinginkan.

## DAFTAR PUSTAKA

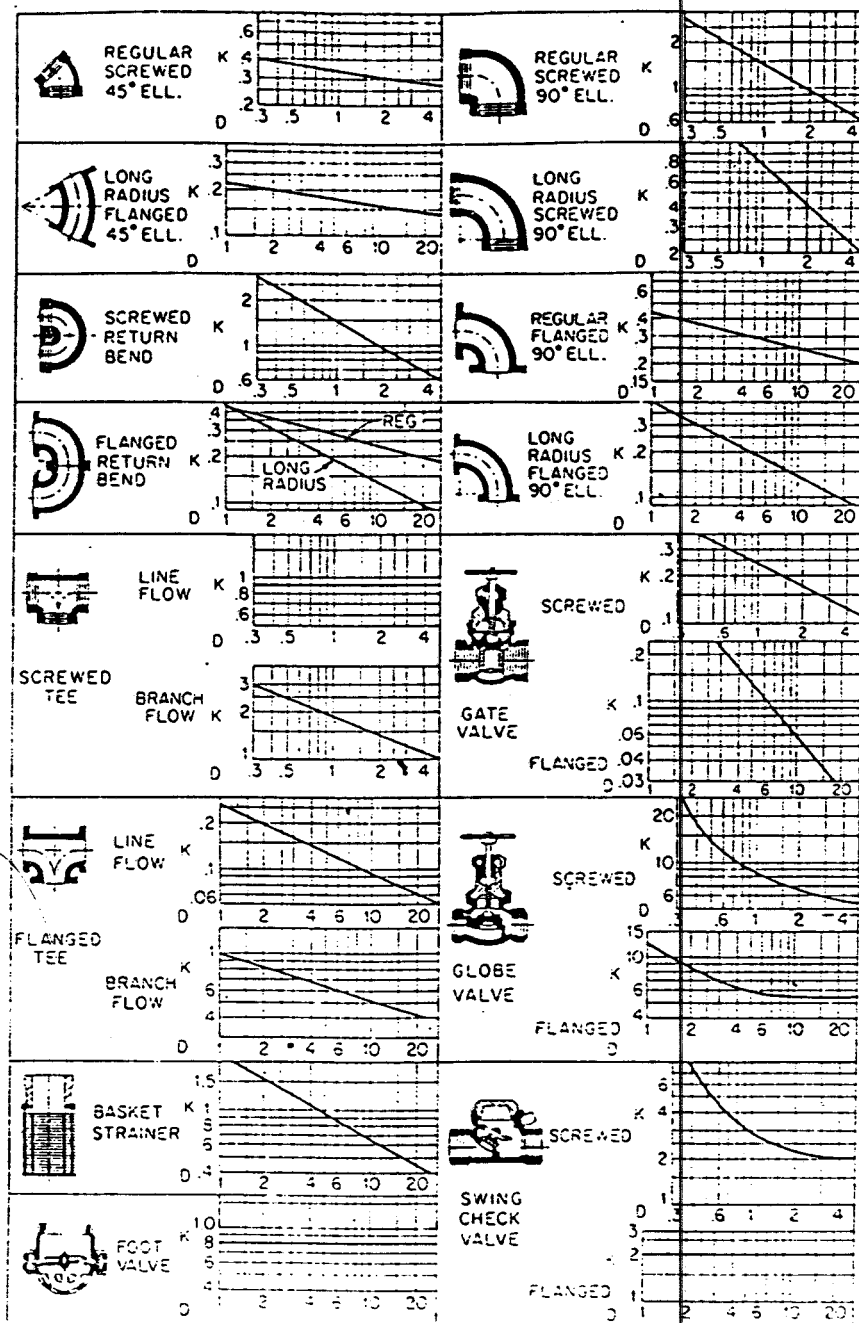
1. Church, H.Austin, Centrifugal Pumps and Blower, reprint 1972, Robert E. Krieger Publishing Co. Huntington, New York, 1972
2. Daugherty and Franzani, Fluid Mechanics with Engineering Applications, Sixth Edition, Mc Graw Hill, Inc, Toleyo, 1965
3. Dakso Sriyono, Ir., Turbin, Pompa dan Kompresor, Erlangga, Jakarta, 1993
4. Fox, Robert W. and Alan T. McDonald, Introduction To Fluid Mechanic, Third Edition, Copy right 1978, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1978
5. Hugot E, Hand Book of Cane Sugar Engineering, English Edition, Second edition, Translate and Revised by G.H Jenkins, M.sc; App Elsever Publishing Company, Amsredam, 1972
6. Hicks, Tylor G and T.W. Edwards, P.E, Pump Applications Engineering, Mc Graw Hill, Book Company, New York, 1971
7. I Made Arya Djoni, Ir, M.Sc, Mekanika Fluida I, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS, 1987
8. Karrasik, Igor J; William C. Krutz, Warren H. Fraser and Joseph P.Sch Messina, Pump Hand Book, Copy right 1976, M. Graw Hill, Inc, New York, 1976
9. Lazarkiewics, Stephen and Adam T. Trokolanski, Impeller Pump, 1st. ed. Pergamon Press, Moscow, 1965

10. M. Khetagurov, Marine Auxiliary Machinery And Systems, Translated from  
the Russian by Nicholas Weinstein, Moscow
11. Stepanoff, Alexy J. Centrifugal and Axial Flow Pumps, 2nd. Printing, John  
Wiley and Sons Inc, 1962
12. Soelarso, Harud Tahara, Pompa Dan Kompresor, Pt Pradnya Paramita, cetakan  
ke-2, Jakarta 1985

Tabel 1. Ekvivalen Dimensional

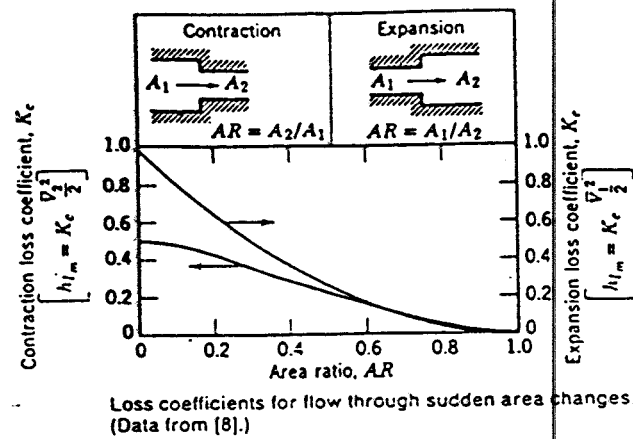
Panjang	$1 \text{ m} = 3,2808 \text{ ft} = 39,37 \text{ in}$ $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} = 0,394 \text{ in} = 0,0328 \text{ ft}$ $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ $1 \text{ km} = 0,621 \text{ mi}$ $1 \text{ mi} = 5280 \text{ ft}$
Luas	$1 \text{ m}^2 = 10,76 \text{ ft}^2$ $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,155 \text{ in}^2$
Volume	$1 \text{ gal} = 0,13368 \text{ ft}^3 = 3,785 \text{ liter}$ $1 \text{ liter} = 10^{-3} \text{ m}^3$
Waktu	$1 \text{ h} = 3600 \text{ s} = 60 \text{ min}$ $1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$ $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$
Massa	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 2,2046 \text{ lbm} = 6,8521 \times 10^{-2} \text{ slug}$ $1 \text{ slug} = 1 \text{ lbf} \cdot \text{s}^2 / \text{ft} = 32,174 \text{ lbm}$
Gaya	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm} / \text{s}^2$ $1 \text{ lbf} = 4,448 \times 10^3 \text{ dyn} = 4,448 \text{ N}$
Energi	$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$ $1 \text{ Btu} = 778,16 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = 1,055 \times 10^{10} \text{ ergs} = 252 \text{ kal} = 1055,0 \text{ J}$ $1 \text{ kal} = 4,186 \text{ J}$ $1 \text{ kkal} = 4186 \text{ J} = 1000 \text{ kal}$ $1 \text{ erg} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}^2 = 10^{-7} \text{ J}$ $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ $1 \text{ Q} = 10^{18} \text{ Btu} = 1,055 \times 10^{21} \text{ J}$ $1 \text{ Quad} = 10^{15} \text{ Btu}$ $1 \text{ kJ} = 0,947813 \text{ Btu} = 0,23884 \text{ kkal}$
Daya	$1 \text{ W} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 = 1 \text{ J} / \text{s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lbf} / \text{s}$ $1 \text{ hp} = 2545 \text{ Btu} / \text{h} = 746 \text{ W}$ $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 3412 \text{ Btu} / \text{h}$
Tekanan	$1 \text{ atm} = 14,696 \text{ lbf} / \text{in}^2 = 760 \text{ torr} = 101325 \text{ N} / \text{m}^2$ $1 \text{ mm Hg} = 0,01934 \text{ lbf} / \text{in}^2 = 1 \text{ torr}$ $1 \text{ dyn} / \text{cm}^2 = 145,04 \times 10^{-7} \text{ lbf} / \text{in}^2$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N} / \text{m}^2 = 14,504 \text{ lbf} / \text{in}^2 = 10^6 \text{ dyn} / \text{cm}^2$ $1 \mu = 10^{-6} \text{ m Hg} = 10^{-3} \text{ mm Hg}$ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2 = 1,4504 \times 10^{-4} \text{ lbf} / \text{in}^2$ $1 \text{ in Hg} = 3376,8 \text{ N} / \text{m}^2$ $1 \text{ in H}_2\text{O} = 248,8 \text{ N} / \text{m}^2$
Daya per satuan luas	$1 \text{ W} / \text{m}^2 = 0,3170 \text{ Btu} / (\text{jam} \cdot \text{ft}^2) = 0,85984 \text{ kkal} / (\text{jam} \cdot \text{m}^2)$
Koefisien perpindahan panas	$1 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = 0,1761 \text{ Btu} / (\text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) = 0,85984 \text{ kkal} / (\text{jam} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Energi per satuan massa	$1 \text{ kJ} / \text{kg} = 0,4299 \text{ Btu} / \text{lbm} = 0,23884 \text{ kkal} / \text{kg}$
Panas spesifik	$1 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,23884 \text{ Btu} / (\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}) = 0,23884 \text{ kkal} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
Konduktivitas termal	$1 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,5773 \text{ Btu} / (\text{jam} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}) = 0,85984 \text{ kkal} / (\text{jam} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

Tabel 2. Panjang Ekuivalen



( Sumber Tyler, Hal - 72 )

Tabel 3. Pembesaran dan Pengecilan Penampang



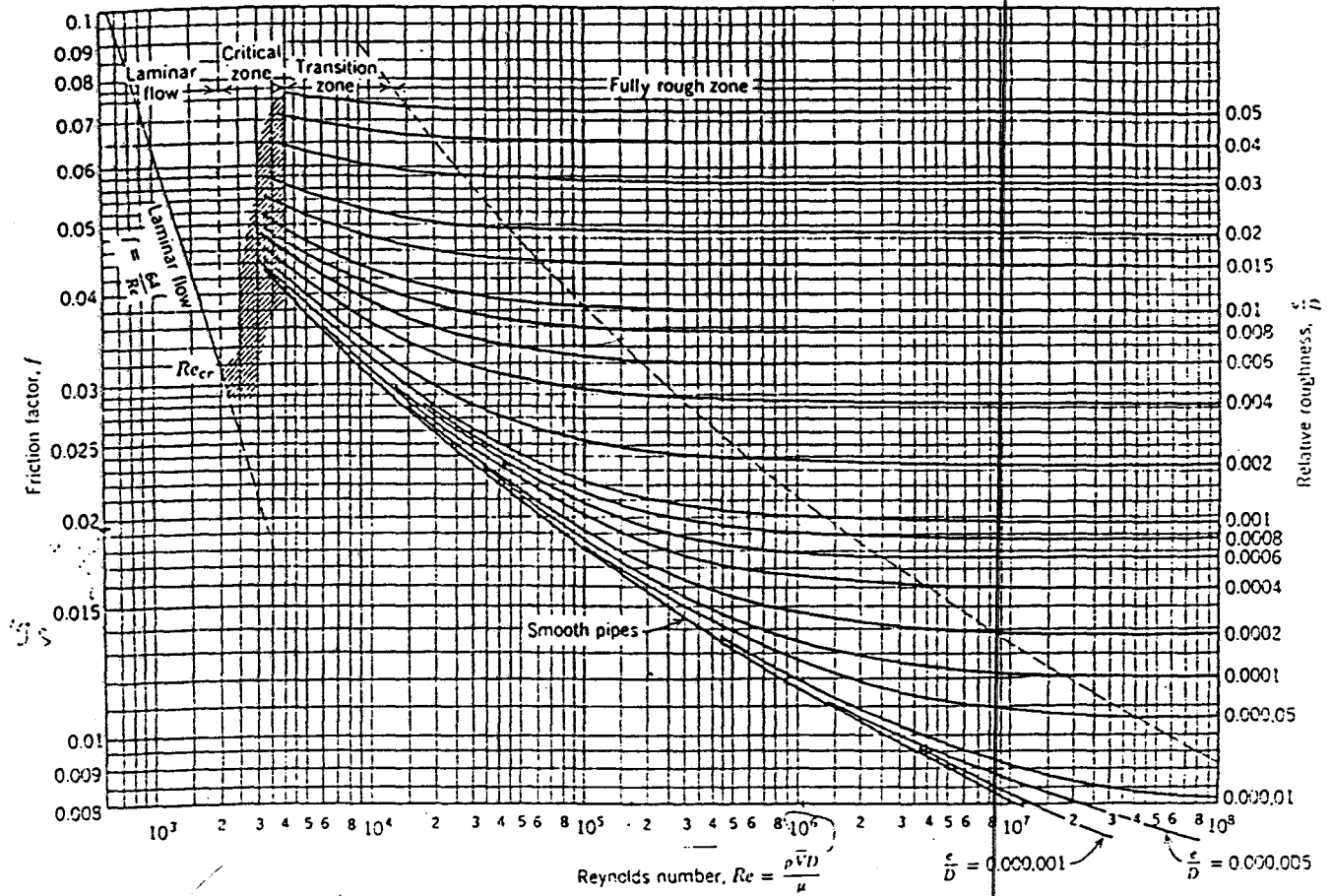
∴ Loss Coefficients for Gradual Contractions: Round and Rectangular Ducts  
(Data from [9])

Loss Coefficient, $K^*$								
Included Angle, $\theta$ , Degrees								
$A_2/A_1$	10	15-40	50-60	90	120	150	180	
0.50	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26	
0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41	
0.10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43	

\* Based on  $h_{lm} = K(\bar{V}_1^2/2)$ .

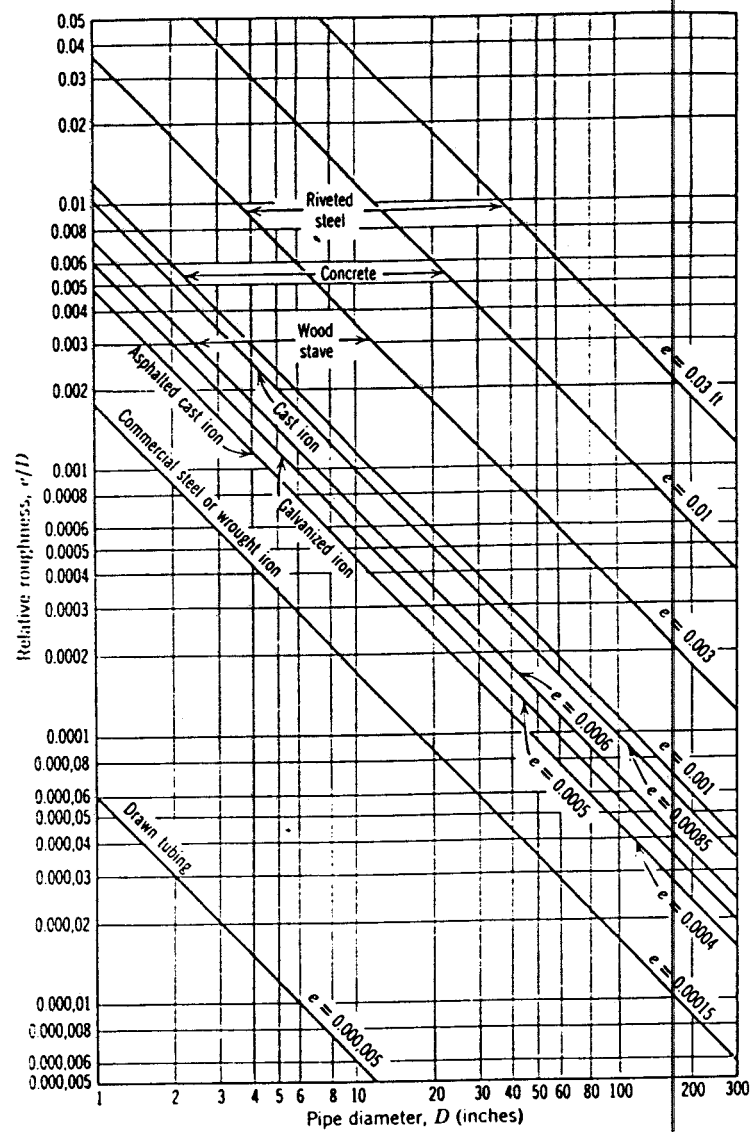
( Sumber Fox and Mc Donald, Hal - 375 )

Tabel 4. Friction Faktor



( Sumber, Ibid, Hal - 362 )

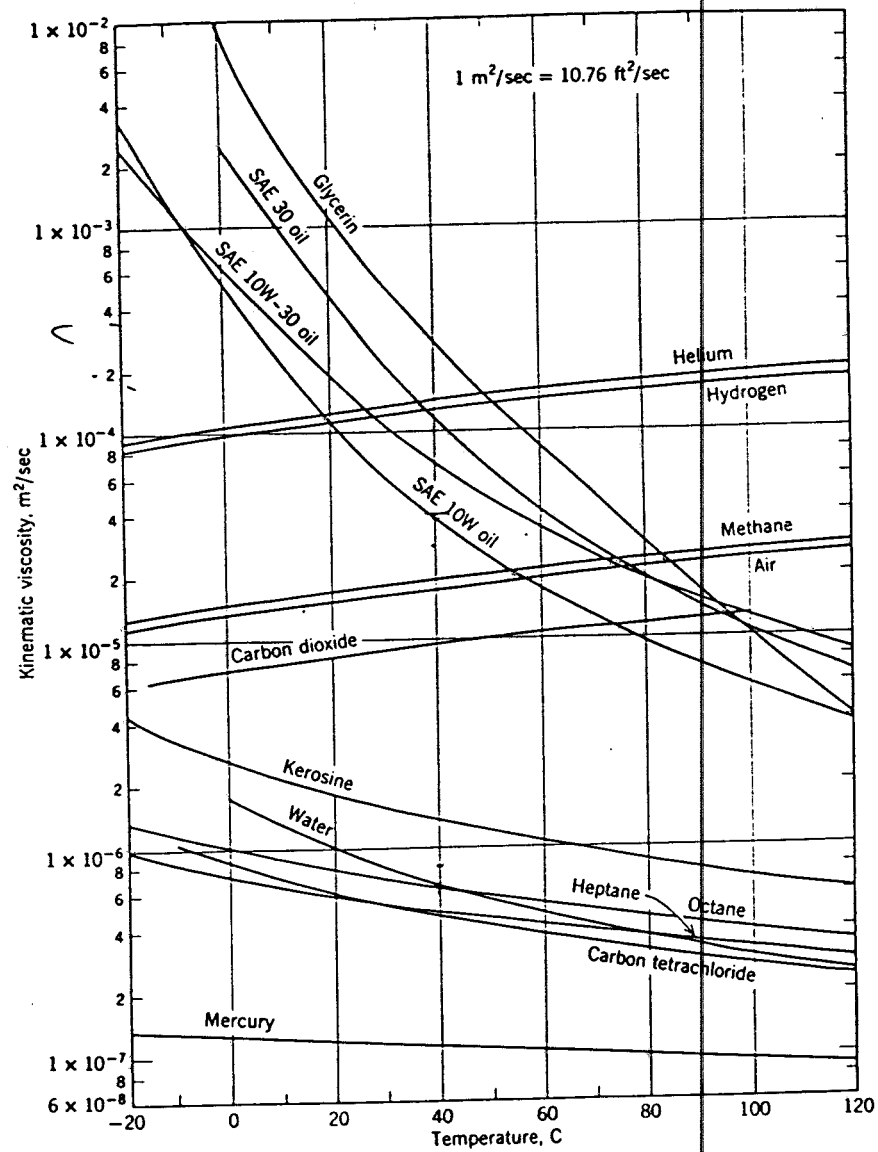
Tabel 5. Relative Roughness



( Sumber, Ibid, Hal - 363 )

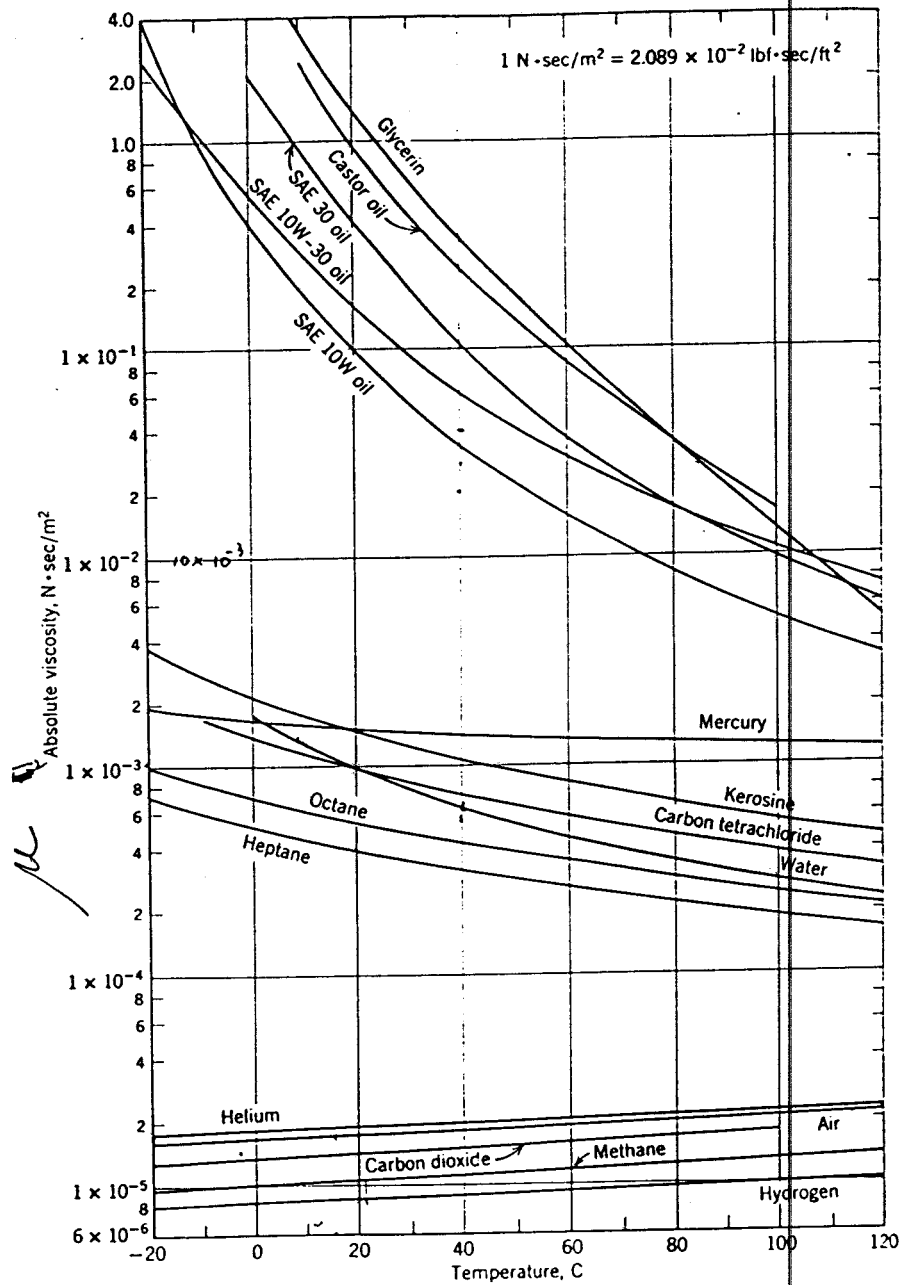


Tabel 6. Viskositas Kinematik



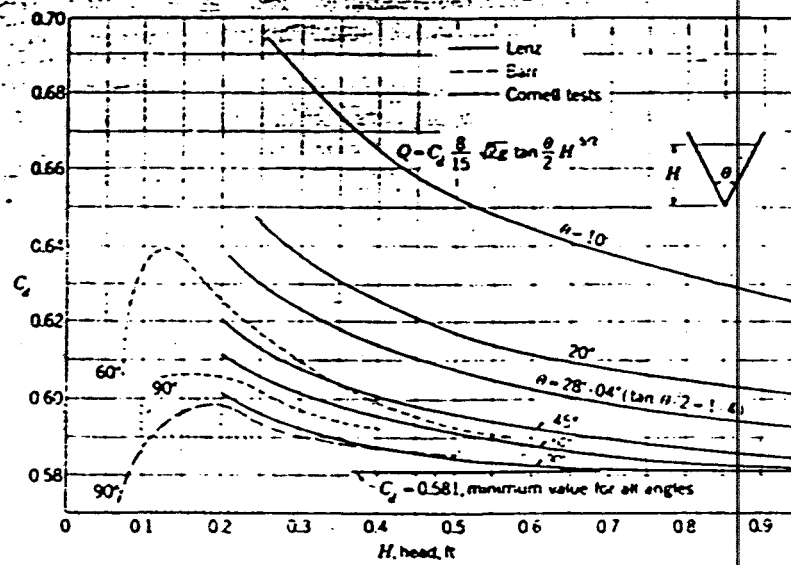
( Sumber, Ibid, Hal - 687 )

Tabel 7. Viskositas Absolut



( Sumber, Ibid, Hal - 686 )

Tabel 8. Coefficient for Triangular Weirs



( Sumber, Daugherty and Franzini, Hal - 372 )

Tabel 9. Data Penelitian Kondisi Standart

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

### IMPLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	0	239	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
2		238	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
3		239	3.5	0.56	0.9	36	22	15.5
4		239	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
5		239	3.4	0.55	0.9	36	22	15.5
6		239	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
7		239	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
8		240	3.4	0.55	0.9	36	22	15.5
9		239	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
10		238	3.5	0.55	0.9	36	22	15.5
		238.9	3.48	0.551	0.9	36	22	15.5

# HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	II	238	3.8	0.46	1	36	15.4	20.1
2		238	3.8	0.46	1	36	15.4	20.1
3		239	3.9	0.46	1	36	15.3	20.2
4		239	3.9	0.46	1	36	15.3	20.2
5		239	3.8	0.46	1	36	15.3	20.2
6		238	3.8	0.46	1	36	15.3	20.2
7		240	3.8	0.46	1	36	15.3	20.2
8		239	3.8	0.46	1	36	15.3	20.2
9		239	3.9	0.46	1	36	15.4	20.1
10		239	3.9	0.46	1	36	15.4	20.1
		238.8	3.84	0.46	1	36	15.34	20.16

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Q L/mt	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	I	238	3.8	0.48	1	36	15.5	20
2		238	3.7	0.49	1	36	15.5	20
3		239	3.8	0.49	1	36	15.5	20
4		239	3.7	0.48	1	36	15.5	20
5		239	3.8	0.48	1	36	15.5	20
6		240	3.9	0.48	0.9	36	15.5	20
7		240	3.8	0.48	0.9	36	15.5	20
8		239	3.7	0.49	1	36	15.5	20
9		238	3.9	0.48	0.9	36	15.5	20
10		239	3.9	0.49	1	36	15.5	20
		238.9	3.8	0.484	0.97	36	15.5	20

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	III	238	3.9	0.44	1	36	14.5	20.4
2		238	3.9	0.44	1	36	14.5	20.4
3		238	3.9	0.45	1.1	36	14.5	20.4
4		239	3.9	0.44	1	36	14.5	20.4
5		239	3.95	0.45	1.1	36	14.6	20.3
6		239	3.95	0.45	1.1	36	14.6	20.3
7		238	3.95	0.44	1	36	14.5	20.4
8		239.5	3.95	0.45	1	36	14.6	20.3
9		239	3.95	0.45	1.1	36	14.6	20.3
10		239	3.95	0.44	1	36	14.5	20.4
		238.65	3.93	0.445	1.04	36	14.54	20.36

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IV	239	4	0.42	1		14.2	20.5
2		239	3.9	0.425	1		14.2	20.5
3		239	3.9	0.43	1.1		14.2	20.5
4		238	4	0.425	1		14.2	20.5
5		238	4	0.425	1.1		14.2	20.5
6		239	3.9	0.43	1.1		14.2	20.5
7		239	3.9	0.425	1		14.2	20.5
8		238	4	0.425	1.1		14.2	20.5
9		238	4	0.43	1.1		14.2	20.5
10		238	4	0.43	1		14.2	20.5
		238.5	3.96	0.427	1.05		14.2	20.5



**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	V	237	4	0.41	1.1	36	13.8	20.6
2		238	3.95	0.41	1.1	36	13.8	20.6
3		239	3.9	0.42	1.1	36	13.8	20.6
4		239	4	0.41	1	36	13.8	20.6
5		239	4	0.41	1	36	13.8	20.6
6		239	3.95	0.41	1.1	36	13.8	20.6
7		239	3.9	0.41	1	36	13.75	20.65
8		238.5	3.9	0.41	1.1	36	13.8	20.6
9		239	4	0.41	1.1	36	13.8	20.6
10		239	4	0.41	1	36	13.8	20.6
		238.65	3.96	0.411	1.06	36	13.795	20.605

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VI	239	4.1	0.39	1	36	13.8	20.7
2		239	4.1	0.38	1.1	36	13.8	20.7
3		239	4	0.38	1.1	36	13.8	20.7
4		238.5	4.1	0.39	1.1	36	13.8	20.7
5		239	4	0.38	1.1	36	13.8	20.7
6		238	4	0.39	1	36	13.5	20.9
7		239	3.9	0.39	1.1	36	13.7	20.8
8		238	3.9	0.38	1	36	13.7	20.8
9		239	3.9	0.38	1.1	36	13.7	20.8
10		239	3.8	0.38	1.1	36	13.7	20.8
		238.75	3.98	0.384	1.07	36	13.73	20.76

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VII	240	4.4	0.36	1.1	36	13.5	21
2		239	4.3	0.36	1.15	36	13.5	20.9
3		239	4.3	0.36	1.1	36	13.6	20.9
4		239	4.4	0.36	1.1	36	13.5	20.9
5		239	4.3	0.37	1.1	36	13.5	21
6		240	4.4	0.37	1.1	36	13.5	20.9
7		239	4.3	0.37	1	36	13.5	20.9
8		239	4.3	0.37	1	36	13.5	20.9
9		239	4.3	0.375	1.1	36	13.5	20.95
10		239	4.3	0.375	1	36	13.5	20.95
		239.2	4.33	0.367	1.075	36	13.51	20.93

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VIII	240	4.6	0.34	1.1	36	13	21.1
2		240	4.5	0.34	1.1	36	13	21.1
3		239.5	4.6	0.34	1.1	36	13	21.1
4		240	4.5	0.35	1.12	36	13	21.1
5		240	4.5	0.35	1.1	36	13	21.1
6		240	4.6	0.34	1.1	36	13	21.2
7		240	4.6	0.35	1.12	36	13	21.1
8		240	4.5	0.35	1.1	36	13	21.1
9		239	4.5	0.35	1.1	36	13	21.1
10		239	4.6	0.35	1.1	36	13	21.1
		239.75	4.55	0.346	1.104	36	13	21.11

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IX	240	4.7	0.32	1.15	36	12.9	21.2
2		240	4.65	0.32	1.1	36	12.9	21.2
3		240	4.7	0.31	1.1	36	12.9	21.2
4		239	4.6	0.32	1.15	36	12.9	21.2
5		241	4.65	0.31	1.1	36	12.9	21.2
6		240.5	4.65	0.31	1.15	36	12.9	21.2
7		239	4.7	0.31	1.1	36	12.9	21.2
8		239	4.65	0.32	1.1	36	12.9	21.2
9		239	4.7	0.32	1.1	36	12.9	21.2
10		240	4.6	0.32	1.15	36	12.9	21.2
		239.75	4.66	0.316	1.12	36	12.9	21.2

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	X	240	4.7	0.29	1.15	36	12.8	21.3
2		240	4.7	0.29	1.15	36	12.7	21.4
3		240	4.6	0.29	1.15	36	12.7	21.4
4		239	4.7	0.29	1.2	36	12.7	21.4
5		240	4.6	0.28	1.1	36	12.8	21.3
6		240	4.7	0.28	1.15	36	12.7	21.4
7		240.5	4.6	0.28	1.1	36	12.8	21.3
8		241	4.7	0.28	1.15	36	12.7	21.4
9		238	4.6	0.29	1.1	36	12.7	21.4
10		240	4.7	0.28	1.1	36	12.7	21.3
		239.85	4.66	0.285	1.135	36	12.73	21.36

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XI	240	4.8	0.25	1.2	36	12.5	21.5
2		240	4.6	0.25	1.15	36	12.5	21.5
3		240	4.7	0.25	1.15	36	12.5	21.5
4		240	4.6	0.26	1.15	36	12.5	21.5
5		241	4.6	0.25	1.2	36	12.5	21.5
6		240	4.6	0.24	1.15	36	12.5	21.5
7		240	4.7	0.25	1.2	36	12.5	21.5
8		240	4.7	0.24	1.1	36	12.5	21.5
9		240	4.7	0.25	1.1	36	12.5	21.5
10		240	4.7	0.25	1.1	36	12.5	21.5
		240.1	4.67	0.249	1.15	36	12.5	21.5

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XII	241	4.7	0.2	1.15	36	12	21.8
2		240	4.7	0.2	1.15	36	12	21.8
3		240	4.6	0.2	1.2	36	12	21.8
4		240	4.6	0.2	1.2	36	12	21.8
5		240	4.8	0.21	1.2	36	12	21.7
6		240	4.7	0.21	1.15	36	12	21.8
7		240	4.8	0.21	1.15	36	12	21.7
8		241	4.7	0.21	1.2	36	12	21.7
9		241	4.6	0.21	1.1	36	12	21.7
10		240	4.6	0.21	1.1	36	12	21.7
		240.3	4.68	0.206	1.16	36	12	21.75



## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XIII	241	4.7	0.16	1.2	36	11.1	22
2		240	4.8	0.16	1.2	36	11.1	22
3		241	4.6	0.16	1.2	36	11.1	22
4		241	4.7	0.16	1.25	36	11.1	22
5		240.5	4.8	0.16	1.2	36	11.1	21.9
6		240	4.7	0.16	1.2	36	11.1	22
7		240	4.6	0.17	1.25	36	11.1	22
8		240	4.7	0.17	1.2	36	11.1	22
9		240	4.7	0.17	1.15	36	11.1	22
10		240	4.7	0.17	1.2	36	11.1	22
		240.35	4.7	0.164	1.205	36	11.1	21.99

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER STANDART**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XIV	242	4.7	0.15	1.25	36	105	22.1
2		241	4.8	0.13	1.25	36	105	22.1
3		240	4.7	0.14	1.25	36	105	22.1
4		241	4.8	0.14	1.2	36	105	22.1
5		240	4.75	0.14	1.2	36	105	22.1
6		240	4.8	0.15	1.2	36	105	22.1
7		240	4.75	0.14	1.15	36	105	22.1
8		240	4.7	0.14	1.2	36	105	22.1
9		240	4.8	0.14	1.2	36	105	22.1
10		240	4.7	0.13	1.2	36	105	22.1
		240.4	4.75	0.14	1.21	36	105	22.1

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER STANDART

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XV	241	4.8	0.1	1.25	36	10.3	22.25
2		240	4.75	0.1	1.25	36	10.3	22.25
3		241	4.75	0.1	1.25	36	10.3	22.25
4		242	4.8	0.1	1.25	36	10.3	22.25
5		240	4.8	0.1	1.25	36	10.3	22.25
6		240	4.8	0.11	1.2	36	10.3	22.25
7		240	4.8	0.1	1.25	36	10.3	22.25
8		240	4.8	0.1	1.2	36	10.3	22.25
9		240	4.9	0.11	1.2	36	10.3	22.25
10		241	4.8	0.11	1.2	36	10.3	22.25
		240.5	4.8	0.103	1.23	36	10.3	22.25

Tabel 10. Data Penelitian kondisi 1

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	0	235	4.1	0.44	0.8	36	22	15.5
2		235	4.1	0.45	0.8	36	22	15.5
3		235	4	0.45	0.9	36	22	15.5
4		235	4	0.46	0.8	36	22	15.5
5		235	4	0.46	0.8	36	22	15.5
6		235	3.9	0.46	0.7	36	22	15.5
7		235	3.9	0.46	0.8	36	22	15.5
8		235	3.9	0.46	0.9	36	22	15.5
9		235	3.9	0.46	0.8	36	22	15.5
10		235	3.9	0.46	0.8	36	22	15.5
		235	3.97	0.456	0.81	36	22	15.5

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## DIPOTONG 4 MM

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	I	235	4.1	0.42	0.9	36	14.2	19.8
2		235	4.1	0.42	1	36	14.2	19.8
3		235	4.1	0.41	1	36	14.15	19.85
4		235	4.2	0.41	1	36	14.15	19.85
5		235	4.2	0.41	0.9	36	14.2	19.8
6		235	4.2	0.42	0.9	36	14.2	19.8
7		245	4.2	0.4	0.9	36	14.2	19.8
8		235	4.2	0.39	1	36	14.2	19.8
9		235	4.2	0.4	0.9	36	14.2	19.8
10		235	4.2	0.42	0.9	36	14.2	19.8
		236	4.17	0.41	0.94	36	14.19	19.81

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	II	235	4.2	0.4	1	36	14	20.2
2		235	4.2	0.39	1	36	14	20.2
3		235	4.2	0.4	0.9	36	14.05	20.15
4		235	4.2	0.39	1	36	14.05	20.15
5		235	4.2	0.39	0.9	36	14.1	20.1
6		235	4.2	0.4	0.9	36	14.1	20.1
7		235	4.2	0.4	1	36	14.1	20.1
8		235	4.1	0.4	1	36	14.1	20.1
9		235	4.2	0.39	0.9	36	14.1	20.1
10		235	4.2	0.39	1	36	14.1	20.1
		235	4.19	0.395	0.96	36	14.07	20.13

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	III	235	4.3	0.38	1	36	13.8	20.3
2		235	4.25	0.39	1	36	13.8	20.3
3		235	4.25	0.38	1	36	13.8	20.35
4		235	4.25	0.38	0.9	36	13.8	20.3
5		235	4.25	0.38	1	36	13.7	20.4
6		235	4.25	0.39	0.9	36	13.7	20.4
7		235	4.25	0.38	1	36	13.8	20.3
8		235	4.25	0.38	1	36	13.8	20.3
9		235	4.25	0.38	1	36	13.8	20.3
10		235	4.25	0.38	1	36	13.8	20.3
		235	4.255	0.382	0.98	36	13.78	20.325

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IV	235	4.4	0.38	1	36	13.6	20.4
2		235	4.4	0.38	1	36	13.6	20.4
3		235	4.4	0.37	1	36	13.6	20.4
4		235	4.3	0.38	1	36	13.6	20.4
5		235	4.3	0.38	0.9	36	13.6	20.4
6		235	4.3	0.38	0.9	36	13.55	20.45
7		235	4.3	0.37	1	36	13.55	20.45
8		235	4.3	0.37	1	36	13.55	20.45
9		235	4.3	0.37	1	36	13.55	20.45
10		235	4.3	0.37	1	36	13.55	20.45
		235	4.33	0.375	0.98	36	13.575	20.425



**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	V	235	4.3	0.36	1	36	13.3	20.6
2		235	4.4	0.36	1	36	13.3	20.6
3		235	4.5	0.36	1	36	13.3	20.6
4		236	4.4	0.36	1	36	13.3	20.6
5		236	4.4	0.36	1	36	13.3	20.6
6		236	4.4	0.36	1	36	13.25	20.6
7		236	4.4	0.36	1	36	13.25	20.65
8		236	4.4	0.36	1	36	13.25	20.6
9		236	4.4	0.36	1	36	13.25	20.6
10		236	4.4	0.36	1	36	13.25	20.6
		235.7	4.4	0.36	1	36	13.275	20.605

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VI	235	4.4	0.34	1	36	13	20.8
2		235	4.4	0.34	1	36	13	20.8
3		235	4.4	0.34	1	36	13	20.8
4		235	4.5	0.34	1	36	13	20.8
5		236	4.5	0.35	1	36	13	20.85
6		235	4.4	0.33	1	36	13	20.85
7		236	4.5	0.34	0.9	36	13	20.85
8		235	4.4	0.34	0.9	36	13	20.8
9		235	4.4	0.34	1	36	13	20.8
10		235	4.4	0.34	1	36	13	20.8
		235.2	4.43	0.34	0.98	36	13	20.815

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VII	236	4.5	0.33	1	36	12.8	20.95
2		236	4.4	0.32	1	36	12.8	20.95
3		236	4.4	0.32	1	36	12.8	20.95
4		236	4.4	0.32	1	36	12.8	20.95
5		236	4.5	0.32	1	36	12.8	20.95
6		236	4.5	0.33	1	36	12.8	20.95
7		236	4.5	0.32	1	36	13	20.8
8		236	4.4	0.32	1	36	13	20.8
9		235	4.4	0.32	1	36	13	20.8
10		235	4.4	0.32	1	36	12.8	20.95
		235.8	4.44	0.322	1	36	12.86	20.905

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VIII	236	4.5	0.3	1	36	12.3	21
2		236	4.5	0.31	1	36	12.3	21
3		236	4.55	0.31	1.1	36	12.3	21
4		236	4.5	0.3	1	36	12.3	21
5		236	4.5	0.31	1.1	36	12.3	21
6		236	4.5	0.3	0.9	36	12.25	21.5
7		236	4.5	0.3	0.9	36	12.25	21.5
8		236	4.4	0.31	1	36	12.3	21
9		236	4.4	0.31	1.1	36	12.3	21
10		236	4.4	0.31	1	36	12.3	21
		236	4.475	0.306	1.01	36	12.29	21.1

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IX	235	4.6	0.25	1	36	12.1	21.4
2		235	4.6	0.25	1	36	12.1	21.4
3		235	4.6	0.25	1	36	12.1	21.4
4		235	4.6	0.25	1.1	36	12.1	21.4
5		236	4.6	0.25	1.1	36	12.2	21.3
6		236	4.6	0.26	1.1	36	12.2	21.3
7		236	4.6	0.25	1	36	12.2	21.3
8		236	4.5	0.24	0.9	36	12.2	21.3
9		236	4.5	0.24	1	36	12.2	21.3
10		236	4.5	0.24	1	36	12.2	21.3
		235.6	4.57	0.248	1.02	36	12.16	21.34

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	X	236	4.6	0.21	1	36	12.1	21.4
2		236	4.6	0.21	1.1	36	12	21.4
3		236	4.7	0.22	1	36	12	21.5
4		236	4.6	0.21	1.1	36	12	21.5
5		236	4.6	0.21	1.1	36	12	21.5
6		235	4.6	0.21	1	36	12.05	21.45
7		236	4.6	0.21	1.1	36	12.1	21.4
8		235	4.6	0.21	1.1	36	12.1	21.4
9		235	4.6	0.21	1	36	12.1	21.4
10		236	4.6	0.21	1	36	12.1	21.4
		235.7	4.61	0.211	1.05	36	12.055	21.435

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XI	236	4.6	0.175	1	36	12	21.5
2		236	4.6	0.175	1	36	12	21.5
3		235	4.6	0.18	1.1	36	12	21.5
4		236	4.6	0.18	1.1	36	12	21.5
5		236	4.6	0.175	1.1	36	12	21.5
6		235	4.6	0.175	1	36	12.1	21.4
7		236	4.6	0.175	1	36	12	21.5
8		236	4.6	0.18	1.1	36	12	21.5
9		236	4.7	0.18	1	36	12	21.5
10		236	4.7	0.18	1	36	12	21.5
		235.8	4.62	0.178	1.04	36	12.01	21.49

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XII	236	4.6	0.16	1	36	11.8	21.6
2		236	4.6	0.15	1.1	36	11.8	21.6
3		236	4.6	0.15	1.1	36	11.8	21.6
4		236.5	4.6	0.16	1.1	36	11.7	21.7
5		237	4.6	0.16	1.1	36	11.7	21.7
6		237	4.6	0.15	1	36	11.8	21.6
7		237	4.7	0.16	1.1	36	11.7	21.7
8		236	4.7	0.16	1	36	11.7	21.7
9		236	4.7	0.16	1	36	11.8	21.6
10		236	4.7	0.16	1.1	36	11.8	21.6
		236.35	4.64	0.157	1.06	36	11.76	21.64



**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XIII	236	4.75	0.1	1.1	36	11.5	21.8
2		237	4.8	0.11	1	36	11.5	21.8
3		237	4.8	0.11	1.1	36	11.5	21.8
4		237	4.75	0.11	1.1	36	11.5	21.8
5		237	4.75	0.11	1	36	11.1	21.7
6		236	4.75	0.11	1.1	36	11.6	21.7
7		236	4.75	0.12	1.1	36	11.6	21.7
8		236	4.75	0.12	1	36	11.5	21.8
9		237	4.75	0.12	1	36	11.5	21.8
10		236	4.75	0.12	1	36	11.5	21.8
		236.5	4.76	0.113	1.05	36	11.48	21.77

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 4 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	XIV	235	4.9	0.09	1.1	36	11.5	21.8
2		236	4.9	0.08	1.1	36	11.5	21.8
3		237	4.9	0.09	1.1	36	11.4	21.8
4		237	4.9	0.09	1.1	36	11.4	21.9
5		238	4.85	0.09	1.2	36	11.4	21.9
6		238	4.8	0.09	1.2	36	11.4	21.9
7		238	4.8	0.09	1.2	36	11.4	21.9
8		236	4.8	0.09	1.1	36	11.5	21.8
9		237	4.9	0.09	1	36	11.5	21.8
10		237	4.9	0.09	1	36	11.5	21.8
		236.9	4.865	0.089	1.11	36	11.45	21.84

Tabel 11. Data Penelitian Kondisi 2

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	0	235	4	0.42	0.8	36	22	15.5
2		235	4	0.42	0.8	36	22	15.5
3		235	3.9	0.42	0.7	36	22	15.5
4		235	3.8	0.42	0.8	36	22	15.5
5		235	3.7	0.42	0.7	36	22	15.5
6		235	3.75	0.42	0.8	36	22	15.5
7		235	3.75	0.425	0.8	36	22	15.5
8		235	3.75	0.43	0.8	36	22	15.5
9		235	3.8	0.43	0.8	36	22	15.5
10		235	3.75	0.43	0.8	36	22	15.5
		235	3.82	0.424	0.78	36	22	15.5

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	I	236	4	0.375	0.8	36	14.1	19.8
2		235	4	0.375	0.8	36	14.1	19.8
3		236	4	0.375	0.8	36	14.1	19.8
4		236	3.9	0.38	0.9	36	14.1	19.8
5		236	3.9	0.38	0.8	36	14	19.9
6		236	3.9	0.38	0.8	36	14	19.9
7		235	3.9	0.38	0.9	36	14	19.9
8		235	3.9	0.38	0.8	36	14.1	19.8
9		235	3.9	0.38	0.8	36	14.1	19.8
10		235	3.9	0.38	0.8	36	14.1	19.8
		235.5	3.93	0.378	0.82	36	14.07	19.83

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	II	236	4	0.35	0.9	36	13.5	20.2
2		236	4	0.36	0.9	36	13.5	20.2
3		236	4	0.35	0.9	36	13.5	20.2
4		236	4	0.35	0.8	36	13.5	20.2
5		236	4	0.36	0.8	36	13.5	20.25
6		236	4	0.36	0.8	36	13.5	20.25
7		236	3.9	0.35	0.9	36	13.5	20.2
8		236	4	0.36	0.9	36	13.4	20.3
9		236	4	0.36	0.9	36	13.4	20.3
10		236	4	0.36	0.9	36	13.4	20.3
		236	3.99	0.356	0.87	36	13.47	20.24

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	III	236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
2		236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
3		236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
4		236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
5		236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
6		236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
7		236	4	0.33	0.8	36	13.1	20.5
8		236	4.05	0.33	0.8	36	13.1	20.5
9		236	4	0.34	0.9	36	13.1	20.5
10		236	4	0.33	0.9	36	13.1	20.5
		236	4.005	0.331	0.88	36	13.1	20.5

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IV	236	4.1	0.3	0.9	36	12.5	20.8
2		236	4.1	0.3	0.8	36	12.4	20.9
3		236	4.1	0.3	0.9	36	12.4	20.9
4		236	4.1	0.3	0.9	36	12.4	20.9
5		236	4.1	0.31	0.9	36	12.4	20.9
6		236	4.1	0.31	0.9	36	12.5	20.8
7		236	4.2	0.31	0.9	36	12.5	20.8
8		236	4.2	0.31	0.9	36	12.5	20.8
9		236	4.1	0.31	0.9	36	12.5	20.8
10		236	4.1	0.31	0.9	36	12.5	20.8
		236	4.12	0.306	0.89	36	12.46	20.84

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	V	236	4.1	0.26	0.9	36	12.3	21
2		237	4.2	0.26	0.9	36	12.3	21
3		237	4.2	0.26	0.9	36	12.3	21
4		237	4.2	0.26	0.9	36	12.3	21
5		237	4.2	0.26	0.9	36	12.2	21
6		237	4.2	0.26	0.9	36	12.2	21
7		237	4.2	0.26	0.9	36	12.2	21
8		238	4.1	0.26	0.9	36	12.2	21
9		237	4.2	0.26	0.9	36	12.2	21
10		237	4.2	0.26	0.9	36	12.2	21
		237	4.18	0.26	0.9	36	12.24	21



## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER DIPOTONG 8 MM

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VI	237	4.2	0.21	0.9	36	12.1	21.3
2		237	4.2	0.22	0.9	36	12.1	21.3
3		237	4.2	0.22	0.9	36	12.1	21.3
4		237	4.1	0.22	1	36	12.1	21.3
5		237	4.2	0.21	1	36	12.1	21.3
6		236	4.2	0.21	1	36	12.1	21.3
7		237	4.2	0.22	0.9	36	12.1	21.3
8		237	4.25	0.21	0.9	36	12.1	21.3
9		237	4.25	0.22	0.9	36	12.1	21.3
10		237	4.25	0.22	0.9	36	12.1	21.3
		236.9	4.205	0.216	0.93	36	12.1	21.3

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VII	238	4.25	0.19	1	36	12	21.4
2		238	4.25	0.19	1	36	12	21.4
3		238	4.25	0.19	1	36	12	21.4
4		238	4.25	0.19	1	36	12	21.4
5		238	4.3	0.19	0.9	36	11.8	21.5
6		238	4.25	0.18	0.9	36	12	21.4
7		237	4.3	0.19	1	36	11.8	21.5
8		238	4.3	0.19	1	36	11.8	21.5
9		238	4.3	0.19	1	36	11.8	21.5
10		238	4.25	0.18	0.9	36	12	21.4
		237.9	4.27	0.188	0.97	36	11.92	21.44

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VIII	235	4.7	0.12	1	36	11.5	21.5
2		236	4.5	0.12	1	36	11.5	21.5
3		236	4.5	0.125	1	36	11.4	21.6
4		236	4.5	0.125	1	36	11.5	21.5
5		236	4.5	0.125	1	36	11.5	21.5
6		236	4.4	0.125	0.9	36	11.5	21.5
7		237	4.4	0.125	0.92	36	11.4	21.6
8		237	4.3	0.12	0.9	36	11.4	21.6
9		237	4.3	0.13	1	36	11.5	21.5
10		237	4.3	0.13	1	36	11.5	21.5
		236.3	4.44	0.125	0.972	36	11.47	21.53

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IX	236	4.5	0.09	1	36	11.2	21.7
2		236	4.3	0.09	1	36	11.2	21.7
3		236	4.5	0.09	1	36	11.2	21.7
4		237	4.5	0.09	1	36	11.2	21.7
5		236	4.4	0.08	1	36	11.2	21.7
6		236	4.4	0.09	1	36	11.1	21.8
7		236	4.5	0.09	1	36	11.2	21.7
8		237	4.4	0.08	0.9	36	11.2	21.7
9		237	4.5	0.09	0.9	36	11.2	21.7
10		237	4.4	0.08	1	36	11.2	21.7
		236.4	4.44	0.087	0.98	36	11.19	21.71

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 8 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	X	236	4.4	0.06	1	36	11	21.8
2		236	4.5	0.07	1	36	11	21.8
3		237	4.4	0.06	1	36	11	21.8
4		236	4.4	0.06	1	36	11	21.8
5		236	4.4	0.07	1	36	11	21.8
6		236	4.4	0.05	1	36	11	21.8
7		236	4.5	0.06	1	36	11	21.8
8		237	4.4	0.07	0.9	36	11	21.8
9		237	4.5	0.07	1	36	11	21.8
10		237	4.5	0.06	1	36	11	21.8
		236.4	4.44	0.063	0.99	36	11	21.8

Tabel 12. Data Penelitian kondisi 3

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER DIPOTONG 12 MM

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	0	235	3.6	0.35	0.8	36	22	15.5
2		235	3.6	0.35	0.8	36	22	15.5
3		235	3.6	0.35	0.9	36	22	15.5
4		235	3.5	0.36	0.8	36	22	15.5
5		235	3.5	0.36	0.7	36	22	15.5
6		235	3.5	0.36	0.7	36	22	15.5
7		235	3.5	0.36	0.7	36	22	15.5
8		235	3.4	0.36	0.7	36	22	15.5
9		235	3.4	0.36	0.8	36	22	15.5
10		235	3.4	0.36	0.8	36	22	15.5
		235	3.5	0.357	0.77	36	22	15.5

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 12 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	I	235	3.5	0.33	0.8	36	14.5	19
2		235	3.5	0.33	0.8	36	14.5	19
3		235	3.5	0.34	0.8	36	14.5	19
4		235	3.5	0.34	0.8	36	14.4	19.1
5		235	3.5	0.34	0.8	36	14.3	19.2
6		235	3.5	0.34	0.7	36	14.3	19.2
7		235	3.5	0.34	0.8	36	14.3	19.2
8		235	3.5	0.34	0.8	36	14.3	19.2
9		235	3.5	0.34	0.8	36	14.3	19.2
10		235	3.5	0.34	0.8	36	14.3	19.2
		235	3.5	0.338	0.79	36	14.37	19.13

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 12 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	II	236	3.5	0.31	0.8	36	13.5	20
2		236	3.5	0.31	0.8	36	13.5	20
3		236	3.5	0.31	0.8	36	13.5	20
4		236	3.55	0.32	0.9	36	13.5	20
5		236	3.6	0.32	0.8	36	13.5	20
6		236	3.6	0.325	0.9	36	13.5	20
7		236	3.5	0.32	0.7	36	13.5	20
8		236	3.5	0.325	0.8	36	13.5	20
9		235	3.5	0.325	0.8	36	13.5	20
10		235	3.5	0.325	0.8	36	13.5	20
		235.8	3.525	0.319	0.81	36	13.5	20



**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 12 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	III	235	3.6	0.3	0.8	36	13.4	20.3
2		235	3.6	0.3	0.8	36	13.3	20.4
3		236	3.6	0.3	0.8	36	13.3	20.4
4		235	3.6	0.3	0.9	36	13.3	20.3
5		235	3.6	0.3	0.8	36	13.3	20.3
6		236	3.6	0.3	0.8	36	13.3	20.4
7		236	3.6	0.3	0.8	36	13.3	20.4
8		236	3.6	0.31	0.9	36	13.3	20.4
9		236	3.6	0.31	0.8	36	13.3	20.4
10		236	3.6	0.3	0.8	36	13.3	20.4
		235.6	3.6	0.302	0.82	36	13.31	20.37

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 12 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IV	235	3.75	0.28	0.8	36	13	20.6
2		236	3.75	0.28	0.8	36	13	20.6
3		236	3.75	0.28	0.9	36	13	20.6
4		236	3.75	0.28	0.8	36	13	20.6
5		237	3.75	0.28	0.9	36	13	20.6
6		237	3.75	0.28	0.8	36	13	20.6
7		236	3.75	0.28	0.8	36	13	20.6
8		237	3.75	0.28	0.9	36	13	20.6
9		236	3.7	0.28	0.8	36	13	20.6
10		236	3.7	0.28	0.8	36	13	20.6
		236.2	3.74	0.28	0.83	36	13	20.6

### Hasil Penelitian Pompa Sentrifugal

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu :  
 Putaran : 1150 rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	V	236	3.8	0.24	0.8	36	12.4	20.8
2		236	3.8	0.24	0.9	36	12.4	20.8
3		237	3.7	0.24	0.8	36	12.3	20.9
4		237	3.7	0.23	0.8	36	12.3	20.9
5		238	3.7	0.23	0.9	36	12.3	20.9
6		238	3.7	0.23	0.9	36	12.3	20.9
7		238	3.75	0.23	0.8	36	12.3	20.9
8		237	3.75	0.23	0.8	36	12.3	20.9
9		237	3.75	0.23	0.8	36	12.3	20.9
10		237	3.75	0.23	0.9	36	12.3	20.9
		237.1	3.74	0.233	0.84	36	12.32	20.88

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 12 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VI	238	3.8	0.19	0.9	36	12.2	21.1
2		238	3.9	0.19	0.9	36	12.2	21.1
3		238	3.9	0.18	0.8	36	12.2	21.1
4		238	3.9	0.19	0.8	36	12.2	21.1
5		238	3.9	0.18	0.8	36	12.2	21.1
6		238	3.9	0.18	0.8	36	12.2	21.1
7		238	3.9	0.19	0.9	36	12.2	21.1
8		238	3.9	0.19	0.9	36	12.2	21.1
9		238	3.9	0.19	0.8	36	12.2	21.1
10		238	3.9	0.19	0.9	36	12.2	21.1
		238	3.89	0.187	0.85	36	12.2	21.1

**HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL**  
**IMPELLER DIPOTONG 12 MM**

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VII	239	3.9	0.15	0.9	36	12	21.4
2		239	3.9	0.15	0.9	36	12.1	21.3
3		239	3.8	0.15	0.9	36	12.1	21.3
4		239	3.9	0.15	0.9	36	12.1	21.3
5		238	3.9	0.14	0.8	36	12.1	21.3
6		239	3.8	0.15	0.9	36	12.1	21.3
7		239	3.8	0.15	1	36	12.1	21.3
8		239	3.9	0.15	1	36	12	21.4
9		238	3.8	0.15	0.8	36	12	21.4
10		239	3.8	0.15	0.9	36	12	21.4
		238.8	3.85	0.149	0.9	36	12.06	21.34

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER DIPOTONG 12 MM

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L	Hs (cm)	Hd (cm)
1	VIII	239	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
2		239	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
3		239	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
4		239	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
5		239	3.8	0.1	1	36	11.5	21.6
6		239	3.8	0.11	1	36	11.3	21.7
7		239	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
8		239	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
9		238	3.8	0.1	0.9	36	11.5	21.6
10		239	3.9	0.1	1	36	11.5	21.6
		238.9	3.81	0.101	0.93	36	11.48	21.61

## HASIL PENELITIAN POMPA SENTRIFUGAL

## IMPELLER DIPOTONG 12 MM

Pengamat : Hariyadi  
 Selang Waktu : 2 menit  
 Putaran : 1150 Rpm

NO	Bukaan Katup	Volt (V)	Amper (I)	P (bar)	W (kg)	L (cm)	Hs (cm)	Hd (cm)
1	IX	239	3.9	0.05	1	36	11.2	21.6
2		239	3.9	0.05	1	36	11.2	21.6
3		239	3.9	0.05	1	36	11.1	21.7
4		238	3.9	0.05	0.9	36	11.2	21.7
5		238	3.9	0.06	0.9	36	11.1	21.7
6		238	3.8	0.06	1	36	11.2	21.6
7		239	3.8	0.05	1	36	11.1	21.7
8		239	3.9	0.05	1	36	11.1	21.7
9		239	3.9	0.05	1	36	11.1	21.7
10		239	3.9	0.05	0.9	36	11.1	21.7
		238.7	3.88	0.052	0.97	36	11.14	21.67

Tabel 13. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi Standart

putaran = 1150 rpm

No	Volt	I	P(bar)	H	W(kg)	L	hs	hd	Cd
1	238.9	3.48	0.551	0	0.9	36	22	15.5	0
2	238.9	3.8	0.484	4.5	1	36	15.5	20	0.598
3	238.8	3.84	0.46	4.66	1.01	36	15.34	20.16	0.5981
4	238.65	3.93	0.445	4.86	1.04	36	14.54	20.36	0.5983
5	238.5	3.96	0.427	5	1.05	36	14.2	20.5	0.5985
6	238.65	3.96	0.411	5.105	1.06	36	13.8	20.605	0.5986
7	238.75	3.98	0.384	5.26	1.07	36	13.73	20.76	0.5987
8	239.2	4.33	0.367	5.43	1.075	36	13.51	20.93	0.5988
9	239.75	4.55	0.346	5.61	1.104	36	13	21.11	0.5989
10	239.75	4.66	0.316	5.7	1.12	36	12.9	21.2	0.599
11	239.85	4.66	0.285	5.86	1.135	36	12.73	21.36	0.5989
12	240.1	4.67	0.249	6	1.15	36	12.5	21.5	0.59885
13	240.3	4.68	0.206	6.25	1.16	36	12	21.75	0.5988
14	240.35	4.7	0.164	6.49	1.2	36	11.1	21.99	0.5986
15	240.4	4.75	0.14	6.6	1.21	36	10.5	22.1	0.5984
16	240.5	4.8	0.103	6.75	1.23	36	10.3	22.25	0.5982

V1	V2	D1	D2	vk	gamma	Re1	Re2
0	0	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	0	0
0.532242	1.197544	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	23043.64	34565.47
0.580918	1.307066	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	25151.12	37726.68
0.645485	1.452341	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	27946.56	41919.84
0.693211	1.559725	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	30012.89	45019.34
0.730302	1.643179	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	31618.75	47428.13
0.787136	1.771057	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	34079.43	51119.14
0.852428	1.917963	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	36906.26	55359.39
0.924992	2.081231	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	40047.94	60071.91
0.962699	2.166072	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	41680.47	62520.71
1.031513	2.320904	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	44659.83	66989.74
1.094139	2.461813	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	47371.25	71056.88
1.211597	2.726093	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	52456.65	78684.97
1.330837	2.994383	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	57619.19	86428.78
1.387483	3.121838	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	60071.73	90107.59
1.467176	3.301146	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	63522.05	95283.08



f1	f2	hl1	hlm1	hl2	hlm2	HL
0	0	0	0	0	0	0
0.0282	0.027	0.009949	0.047169	0.105778	0.1778	0.340697
0.0279	0.0268	0.011726	0.055685	0.125077	0.21024	0.402729
0.0276	0.0265	0.014321	0.068127	0.152698	0.256667	0.491812
0.0271	0.0261	0.016218	0.077372	0.173455	0.291557	0.558602
0.0269	0.026	0.017867	0.08534	0.191775	0.322352	0.617334
0.0267	0.0258	0.020602	0.09852	0.221072	0.371596	0.71179
0.0264	0.0257	0.02389	0.114452	0.258263	0.43411	0.830716
0.0262	0.0252	0.027918	0.133912	0.298188	0.501219	0.961237
0.0259	0.02515	0.029894	0.143662	0.322354	0.541839	1.037748
0.0257	0.0251	0.034055	0.16387	0.369349	0.620833	1.188107
0.0254	0.025	0.037869	0.182576	0.413904	0.695723	1.330072
0.0252	0.0249	0.04607	0.222412	0.50551	0.849703	1.623696
0.0249	0.0247	0.054923	0.265687	0.605008	1.016946	1.942564
0.0247	0.0245	0.059218	0.286861	0.652283	1.09641	2.094772
0.0242	0.0243	0.064876	0.315379	0.723411	1.215968	2.319633

Qa	Ni	BHP	Hep	WHP	effpump
0.000E+00	665.0976	17.3328	6.049367	0	0.00%
6.065E-04	726.256	21.666	5.842502	3.532828	16.31%
6.620E-04	733.5936	22.09932	5.674495	3.745044	16.95%
7.355E-04	750.3156	23.39928	5.638509	4.134901	17.67%
7.899E-04	755.568	23.8326	5.540975	4.363817	18.31%
8.322E-04	756.0432	24.26592	5.453638	4.524843	18.65%
8.970E-04	760.18	24.69924	5.294681	4.734832	19.17%
9.714E-04	828.5888	24.9159	5.269465	5.103159	20.48%
1.054E-03	872.69	26.17253	5.223469	5.489232	20.97%
1.097E-03	893.788	26.86584	5.012322	5.482063	20.41%
1.175E-03	894.1608	27.51582	4.882548	5.721844	20.79%
1.247E-03	897.0136	28.1658	4.692744	5.833298	20.71%
1.381E-03	899.6832	28.59912	4.621224	6.361067	22.24%
1.517E-03	903.716	30.3324	4.597534	6.951277	22.92%
1.581E-03	913.52	30.76572	4.549881	7.172038	23.31%
1.6719E-03	923.52	31.63236	4.456814	7.428849	23.48%

Tabel 14. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi 1

putaran = 1150 rpm

No	Volt	I	P(bar)	H	W(kg)	L	hs	hd	Cd
1	235	3.97	0.456	0	0.81	36	22	15.5	0
2	235	4.17	0.41	4.31	0.94	36	14.19	19.81	0.5975
3	235	4.19	0.395	4.63	0.96	36	14.07	20.13	0.598
4	235	4.255	0.382	4.825	0.98	36	13.78	20.325	0.5982
5	235	4.33	0.375	4.925	0.98	36	13.58	20.425	0.5983
6	235.7	4.4	0.36	5.105	1	36	13.28	20.605	0.5986
7	235.6	4.43	0.34	5.315	0.98	36	13	20.815	0.59875
8	235.8	4.44	0.322	5.405	1	36	12.86	20.905	0.5988
9	236	4.475	0.306	5.6	1.01	36	12.29	21.1	0.59895
10	235.6	4.57	0.248	5.84	1.02	36	12.16	21.34	0.5989
11	235.7	4.61	0.211	5.935	1.05	36	12.06	21.435	0.59887
12	235.8	4.62	0.178	5.99	1.04	36	12.01	21.49	0.59885
13	236.35	4.64	0.157	6.14	1.06	36	11.76	21.64	0.59884
14	236.5	4.76	0.113	6.27	1.05	36	11.48	21.77	0.5988
15	236.9	4.865	0.089	6.34	1.11	36	11.45	21.84	0.59875

V1	V2	D1	D2	vk	gamma	Re1	Re2
0	0	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	0	0
0.477428	1.074212	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	20670.44	31005.66
0.571518	1.285916	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	24744.14	37116.21
0.63382	1.426095	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	27441.53	41162.3
0.667284	1.50139	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	28890.38	43335.57
0.730302	1.643179	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	31618.75	47428.13
0.807942	1.817869	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	34980.21	52470.31
0.84265	1.895963	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	36482.93	54724.4
0.920952	2.072142	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	39873.04	59809.56
1.022734	2.301152	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	44279.75	66419.62
1.064782	2.39576	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	46100.23	69150.34
1.089586	2.451568	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	47174.12	70761.18
1.159066	2.607898	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	50182.28	75273.42
1.221313	2.747955	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	52877.31	79315.96
1.255582	2.825059	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	54360.99	81541.48

f1	f2	hl1	hlm1	hl2	hlm2	HL
0	0	0	0	0	0	0
0.0285	0.0275	0.00809	0.038296	0.086689	0.145713	0.278788
0.028	0.0269	0.01139	0.054061	0.121514	0.204251	0.391216
0.0278	0.0266	0.013908	0.066088	0.147784	0.248408	0.476189
0.0276	0.0264	0.015305	0.072806	0.16257	0.273261	0.523942
0.0269	0.026	0.017867	0.08534	0.191775	0.322352	0.617334
0.0267	0.02585	0.021706	0.103797	0.233365	0.392258	0.751126
0.0265	0.02577	0.023434	0.112197	0.25306	0.425364	0.814054
0.0262	0.0252	0.027674	0.132745	0.295589	0.496851	0.952859
0.0257	0.0251	0.033478	0.161092	0.363089	0.61031	1.16797
0.0255	0.025	0.036005	0.173477	0.391991	0.65889	1.260363
0.0254	0.02495	0.037554	0.18106	0.409645	0.688565	1.316824
0.0253	0.0249	0.042329	0.204216	0.462626	0.777619	1.48679
0.0252	0.02485	0.046812	0.225993	0.512619	0.861652	1.647076
0.025	0.0248	0.049083	0.237277	0.540699	0.908852	1.735912

Qa	Ni	BHP	Hep	WHP	effpump
0.000E+00	746.36	13.43292	5.077062	0	0.00%
5.440E-04	783.96	19.06608	5.022024	2.723962	14.29%
6.513E-04	787.72	19.93272	5.007623	3.251445	16.31%
7.222E-04	799.94	20.79936	4.98184	3.587324	17.25%
7.604E-04	814.04	20.79936	4.971245	3.768694	18.12%
8.322E-04	829.664	21.666	4.936864	4.09608	18.91%
9.207E-04	834.9664	20.79936	4.899557	4.497298	21.62%
9.602E-04	837.5616	21.666	4.794457	4.589883	21.18%
1.049E-03	844.88	22.09932	4.810874	5.033566	22.78%
1.165E-03	861.3536	22.53264	4.484766	5.210955	23.13%
1.213E-03	869.2616	23.8326	4.222193	5.107561	21.43%
1.242E-03	871.5168	23.39928	3.955158	4.895985	20.92%
1.321E-03	877.3312	24.26592	3.953048	5.20541	21.45%
1.392E-03	900.592	23.8326	3.704075	5.139508	21.57%
1.431E-03	922.0148	26.43252	3.5695	5.091751	19.26%

Tabel 15. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi 2

putaran = 1150 rpm

No	Volt	I	P(bar)	H	W(kg)	L	hs	hd	Cd
1	235	3.82	0.424	0	0.78	36	22	15.5	0
2	235.5	3.93	0.378	4.33	0.82	36	14.07	19.83	0.5975
3	236	3.99	0.356	4.74	0.87	36	13.47	20.24	0.5982
4	236	4.005	0.331	5	0.88	36	13.1	20.5	0.5983
5	236	4.12	0.306	5.34	0.89	36	12.46	20.84	0.59875
6	237	4.18	0.26	5.5	0.9	36	12.24	21	0.59895
7	236.9	4.205	0.216	5.8	0.93	36	12.1	21.3	0.59887
8	236.9	4.27	0.188	5.9	0.97	36	11.92	21.4	0.59887
9	236.3	4.44	0.125	6.03	0.972	36	11.47	21.53	0.59885
10	236.4	4.44	0.087	6.21	0.98	36	11.19	21.71	0.59883
11	236.4	4.44	0.063	6.3	0.99	36	11	21.8	0.59885

V1	V2	D1	D2	vk	gamma	Re1	Re2
0	0	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	0	0
0.482985	1.086717	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	20911.07	31366.61
0.606274	1.364116	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	26248.89	39373.34
0.69298	1.559204	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	30002.86	45004.29
0.817476	1.839321	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	35393	53089.5
0.880387	1.980871	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	38116.76	57175.14
1.005261	2.261838	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	43523.24	65284.86
1.049153	2.360595	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	45423.57	68135.36
1.107867	2.492701	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	47965.61	71948.42
1.192364	2.682819	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	51623.95	77435.93
1.236078	2.781175	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	53516.55	80274.83

f1	f2	hl1	hlm1	hl2	hlm2	HL
0	0	0	0	0	0	0
0.0285	0.0275	0.00828	0.039193	0.088719	0.149126	0.285317
0.028	0.0267	0.012817	0.060836	0.135726	0.228139	0.437519
0.0272	0.0263	0.016267	0.077561	0.174667	0.293595	0.562089
0.0268	0.0257	0.022304	0.106595	0.237518	0.399241	0.765659
0.0265	0.0254	0.02558	0.122471	0.272267	0.457649	0.877967
0.0263	0.0252	0.033099	0.158667	0.352186	0.591984	1.135936
0.0259	0.025	0.035504	0.170623	0.380568	0.63969	1.226385
0.0254	0.0249	0.038825	0.187186	0.422658	0.710438	1.359107
0.0253	0.02485	0.044796	0.216118	0.488606	0.821288	1.570808
0.0251	0.0248	0.04776	0.230727	0.524032	0.880835	1.683354

Qa	Ni	BHP	Hep	WHP	effpump
0.000E+00	718.16	12.13296	4.749549	0	0.00%
5.504E-04	740.412	13.86624	4.567427	2.506227	18.07%
6.909E-04	753.312	16.03284	4.461962	3.073331	19.17%
7.897E-04	756.144	16.46616	4.304345	3.388771	20.58%
9.315E-04	777.856	16.89948	4.209092	3.909113	23.13%
1.003E-03	792.528	17.3328	3.82649	3.827269	22.08%
1.146E-03	796.9316	18.63276	3.572713	4.080298	21.90%
1.196E-03	809.2504	20.36604	3.358936	4.003644	19.66%
1.262E-03	839.3376	20.4527	2.822105	3.552022	17.37%
1.359E-03	839.6928	20.79936	2.597035	3.518046	16.91%
1.409E-03	839.6928	21.23268	2.440266	3.426872	16.14%

Tabel 16. Hasil Perhitungan Unjuk Kerja Kondisi 3

putaran = 1150 rpm

No	Volt	I	P(bar)	H	W(kg)	L	hs	hd	Cd
1	235	3.5	0.357	0	0.77	36	22	15.5	0
2	235	3.5	0.338	3.65	0.79	36	14.37	19.15	0.59
3	235.8	3.525	0.319	4.5	0.81	36	13.5	20	0.598
4	235.6	3.6	0.302	4.87	0.82	36	13.31	20.37	0.5983
5	236.2	3.74	0.28	5.1	0.83	36	13	20.6	0.5986
6	237.1	3.74	0.233	5.38	0.84	36	12.32	20.88	0.5988
7	238	3.89	0.187	5.6	0.85	36	12.2	21.1	0.59895
8	238.8	3.85	0.149	5.84	0.9	36	12.06	21.34	0.5989
9	238.9	3.81	0.101	6	0.93	36	11.48	21.61	0.59884
10	238.7	3.88	0.052	6.17	0.97	36	11.14	21.67	0.59883

V1	V2	D1	D2	vk	gamma	Re1	Re2
0	0	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	0	0
0.311113	0.700073	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	13471.09	20206.64
0.532242	1.197544	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	23043.64	34565.47
0.64881	1.459823	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	28090.54	42135.81
0.728515	1.639159	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	31541.39	47312.09
0.83294	1.874116	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	36062.53	54093.79
0.920952	2.072142	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	39873.04	59809.56
1.022734	2.301152	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	44279.75	66419.62
1.094121	2.461772	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	47370.46	71055.69
1.173256	2.639826	0.0381	0.0254	8.80E-07	997	50796.66	76194.99

f1	f2	hl1	hlm1	hl2	hlm2	HL
0	0	0	0	0	0	0
0.031	0.029	0.003738	0.003695	0.038827	0.065264	0.111523
0.0282	0.027	0.009949	0.010487	0.105778	0.1778	0.304014
0.0276	0.0266	0.014469	0.015481	0.154857	0.260297	0.445104
0.0269	0.026	0.01778	0.019366	0.190838	0.320776	0.54876
0.0265	0.0258	0.022897	0.025203	0.247549	0.416101	0.71175
0.0262	0.0252	0.027674	0.030707	0.295589	0.496851	0.850821
0.0258	0.0251	0.033608	0.037698	0.363089	0.61031	1.044706
0.0254	0.025	0.037867	0.042949	0.41389	0.6957	1.190407
0.0253	0.0249	0.043372	0.04933	0.474023	0.796776	1.363501

Qa	Ni	BHP	Hep	WHP	effpump
0.000E+00	658	11.69964	4.063819	0	0.00%
3.546E-04	658	12.56628	4.035926	1.426654	11.35%
6.065E-04	664.956	13.43292	4.010866	2.425279	18.05%
7.393E-04	678.528	13.86624	3.956831	2.916621	21.03%
8.302E-04	706.7104	14.29956	3.8236	3.16465	22.13%
9.491E-04	709.4032	14.73288	3.486806	3.299563	22.40%
1.049E-03	740.656	15.1662	3.137826	3.283074	21.65%
1.165E-03	735.504	17.3328	2.914862	3.386847	19.54%
1.247E-03	728.1672	18.63276	2.553814	3.174456	17.04%
1.337E-03	740.9248	20.36604	2.20313	2.93662	14.42%





Tabel 18 Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Kondisi 1

Q	D1	S1	G1	b1	t1	Z	D2
0	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0002	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0004	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0006	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0008	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.001	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0012	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0014	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0016	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.0018	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166
0.002	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.166

S2	G2	b2	t2	A1	A2	U1
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367
152	28	0.0075	0.0076	0.0026502	0.0035673	3.731367

U2	K2Cu	ns	nh	Ht1	Hsh	Hh	Htot
9.990433	0.756	0	0	8.763843	2.010121	0	6.753722
9.990433	0.756	11.72098	0.8772	8.697389	1.346812	0.035166	7.31541
9.990433	0.756	16.6716	0.92	8.630935	0.815874	0.090938	7.724122
9.990433	0.756	20.53717	0.941	8.564481	0.417306	0.149739	7.997435
9.990433	0.756	23.85323	0.9477	8.498026	0.151109	0.234142	8.112776
9.990433	0.756	26.82621	0.9536	8.431572	0.017282	0.322037	8.092253
9.990433	0.756	29.56155	0.95912	8.365118	0.015826	0.405345	7.943947
9.990433	0.756	32.1217	0.96106	8.298664	0.146741	0.521362	7.630561
9.990433	0.756	34.54724	0.96227	8.23221	0.410026	0.654519	7.167665
9.990433	0.756	36.86631	0.9634	8.165756	0.805681	0.79708	6.562995
9.990433	0.756	39.09939	0.9645	8.099302	1.333708	0.946706	5.818888

Tabel 19. Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Kondisi 2

Q	D1	S1	G1	b1	t1	Z	D2
0	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0002	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0004	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0006	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0008	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.001	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0012	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0014	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0016	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.0018	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158
0.002	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.158

S2	G2	b2	t2	A1	A2	U1
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367
150	30	0.008	0.007	0.0026502	0.00363296	3.731367

U2	K2Cu	ns	nh	Ht1	Hsh	Hh	Htot
9.508967	0.749	0	0	7.805852	1.834685	0	5.971167
9.508967	0.749	12.77456	0.88771	7.75437	1.173328	0.034934	6.546108
9.508967	0.749	18.15643	0.9289	7.702889	0.659182	0.087892	6.955815
9.508967	0.749	22.34912	0.94469	7.651407	0.292246	0.15281	7.206351
9.508967	0.749	25.93754	0.95187	7.599925	0.07252	0.234806	7.292599
9.508967	0.749	29.14725	0.95829	7.548443	4.0E-06	0.315792	7.232647
9.508967	0.749	32.09352	0.96104	7.496962	0.074698	0.421862	7.000401
9.508967	0.749	34.84458	0.96242	7.44548	0.296603	0.550059	6.598818
9.508967	0.749	37.44477	0.96372	7.393998	0.665718	0.688796	6.039484
9.508967	0.749	39.92485	0.96496	7.342516	1.182043	0.836099	5.324374
9.508967	0.749	42.30716	0.96615	7.291035	1.845578	0.990174	4.455282

Tabel 20 Hasil Perhitungan Head Ideal Impeller Kondisi 3

Q	D1	S1	G1	b1	t1	Z	D2
0	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0002	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0004	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0006	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0008	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.001	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0012	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0014	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0016	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.0018	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15
0.002	0.062	145	35	0.015	0.003	6	0.15

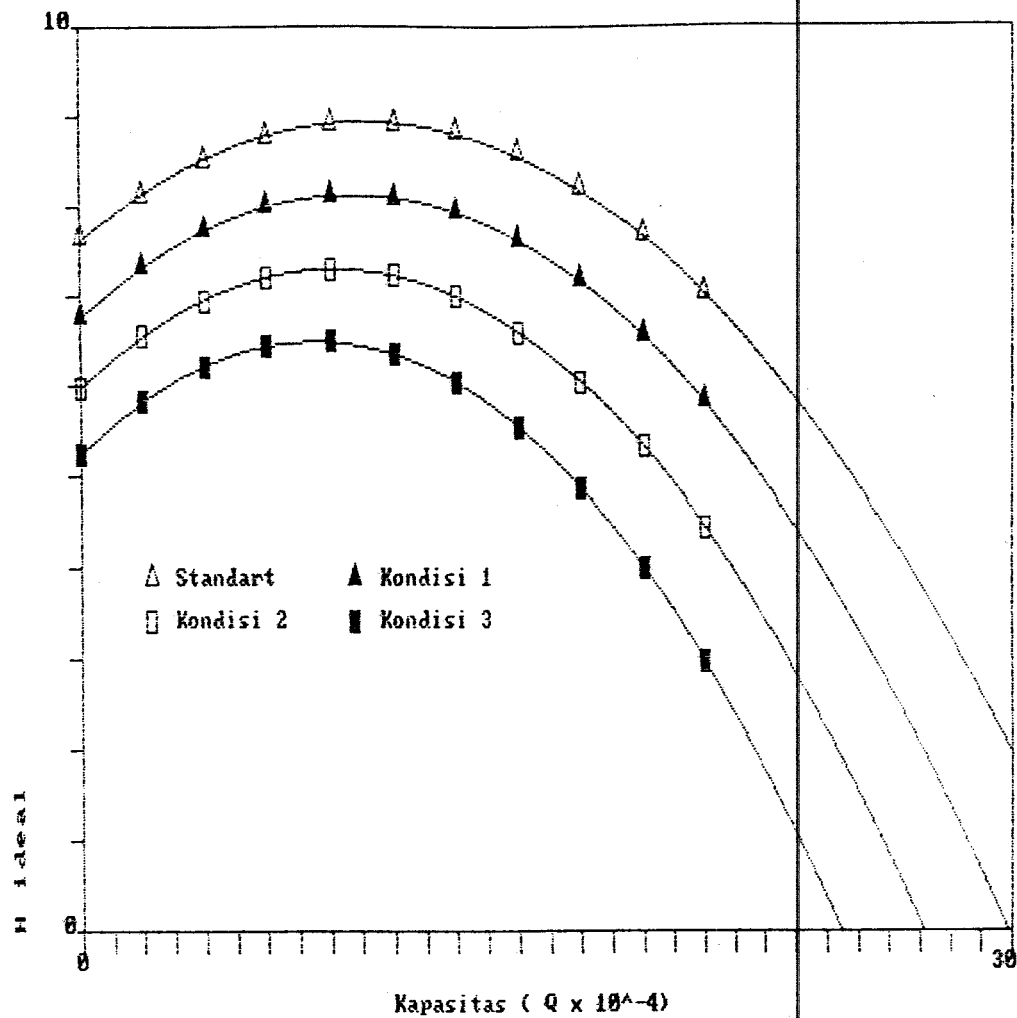
S2	G2	b2	t2	A1	A2	U1
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367
148	32	0.0085	0.0065	0.0026502	0.003672	3.731367

U2	K2Cu	ns	nh	Ht1	Hsh	Hh	Htot
9.0275	0.7413	0	0	6.895169	1.669699	0	5.22547
9.0275	0.7413	14.0106	0.9001	6.855912	1.010046	0.033825	5.812041
9.0275	0.7413	19.8995	0.939397	6.816655	0.515312	0.081607	6.219736
9.0275	0.7413	24.47762	0.948955	6.777398	0.185497	0.153767	6.438133
9.0275	0.7413	28.38773	0.956775	6.73814	0.020603	0.230144	6.487394
9.0275	0.7413	31.87784	0.960438	6.698883	0.020627	0.327209	6.351047
9.0275	0.7413	35.0747	0.962537	6.659626	0.185572	0.443567	6.030488
9.0275	0.7413	38.05337	0.964026	6.620369	0.515436	0.57633	5.528604
9.0275	0.7413	40.86262	0.96543	6.581112	1.010219	0.719089	4.851804
9.0275	0.7413	43.53628	0.966768	6.541854	1.669922	0.869654	4.002279
9.0275	0.7413	46.0989	0.968049	6.502597	2.494545	1.026066	2.981987

Tabel 21 Dimensi Hasil Pemotongan Impeller

Dimensi	Impeller Std	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3
$D_1$	62 mm	62 mm	62 mm	62 mm
$b_1$	15 mm	15 mm	15 mm	15 mm
$\sigma_1$	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
$\beta_1$	145°	145°	145°	145°
$\delta_1$	45°	45°	45°	45°
$D_2$	174 mm	166 mm	158 mm	150 mm
$b_2$	7 mm	7.5 mm	8 mm	8.5 mm
$\sigma_2$	9 mm	7.6 mm	7 mm	6.5 mm
$\beta_2$	155°	152°	150°	148°
$\delta_2$	25°	28°	30°	32°

Gambar 1. Grafik Kapasitas - Head Ideal

Grafik -  $H_{ideal} = f(Q)$ 

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$( 7.615E+00 ) + ( 8.726E+00 ) * X + ( -1.437E+01 ) * X^2$$

THE VARIANCE - 3.307E-04

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$( 6.753E+00 ) + ( 9.481E+00 ) * X + ( -1.632E+01 ) * X^2$$

THE VARIANCE - 2.747E-05

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$( 5.971E+00 ) + ( 9.812E+00 ) * X + ( -1.814E+01 ) * X^2$$

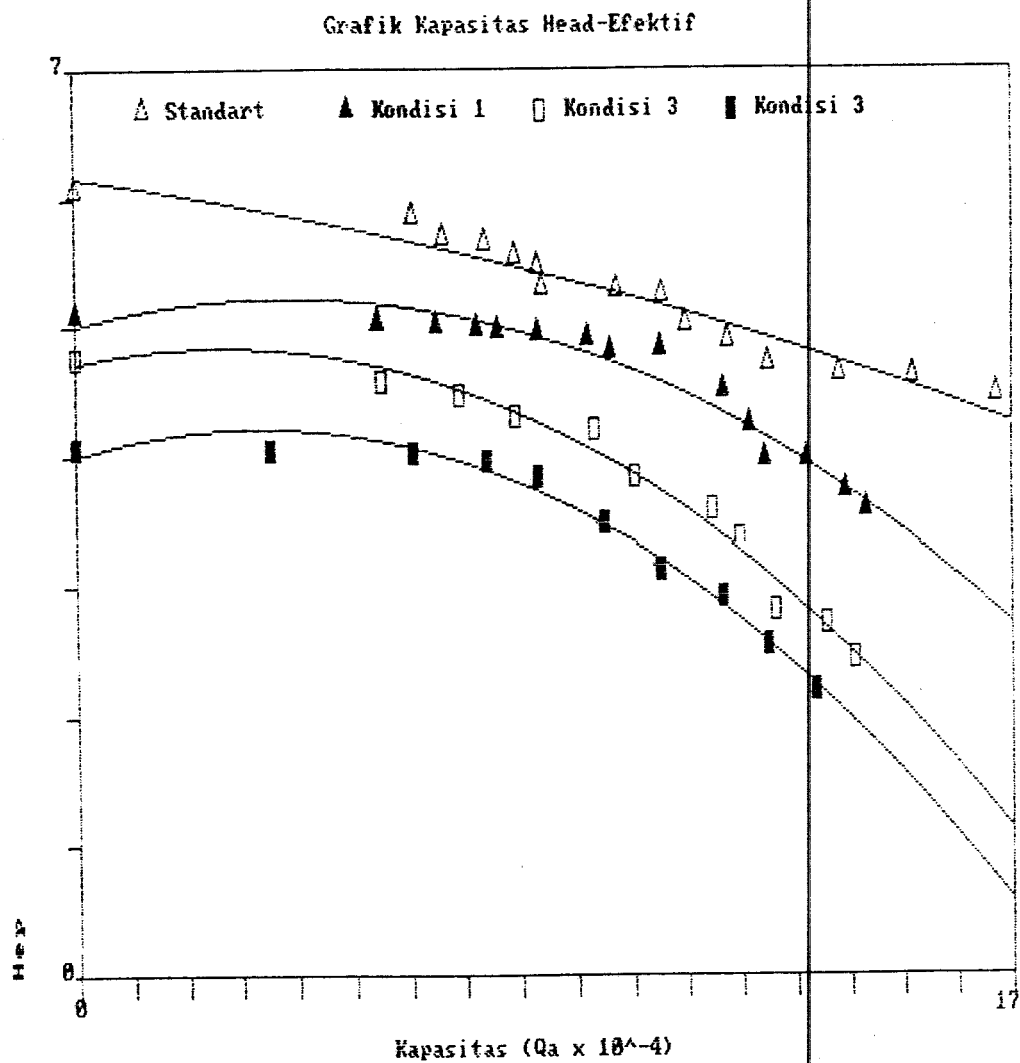
THE VARIANCE - 1.652E-05

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 4 -

$$( 5.230E+00 ) + ( 1.008E+01 ) * X + ( -2.020E+01 ) * X^2$$

THE VARIANCE - 2.970E-05

Gambar 2. Grafik Kapasitas - Head



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$( 6.154E+00) + (-1.100E+00)X + (-8.072E-01)X^2$$

THE VARIANCE - 1.354E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$( 5.004E+00) + ( 1.877E+00)X + (-4.170E+00)X^2$$

THE VARIANCE - 1.219E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$( 4.711E+00) + ( 1.603E+00)X + (-5.184E+00)X^2$$

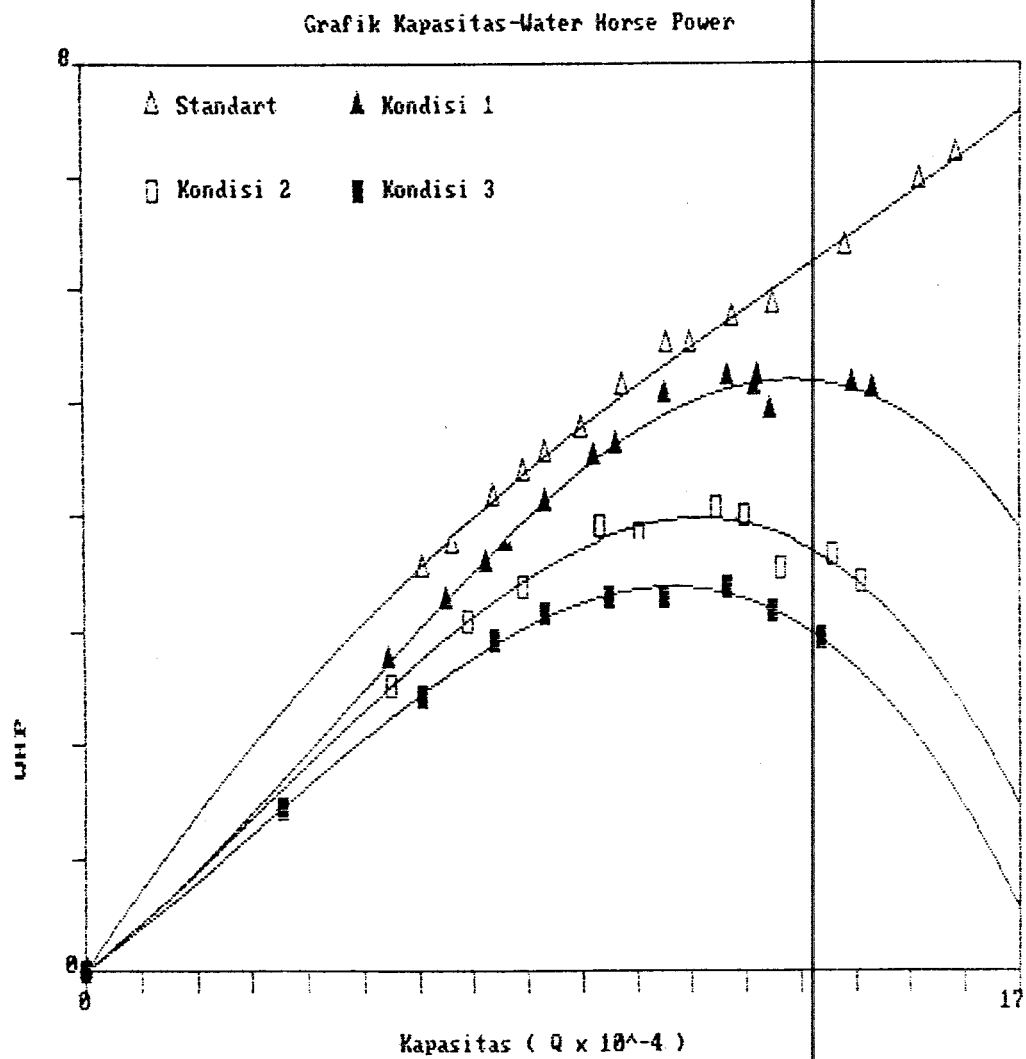
THE VARIANCE - 1.171E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 4 -

$$( 3.992E+00) + ( 2.168E+00)X + (-5.584E+00)X^2$$

THE VARIANCE - 6.212E-03

Gambar 3. Grafik Kapasitas - WHP



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(-1.001E-02) + (1.292E+01)X + (-9.652E+00)X^2 + (4.323E+00)X^3$$

THE VARIANCE - 4.787E-03

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$(-2.407E-03) + (6.609E+00)X + (9.823E+00)X^2 + (-1.254E+01)X^3$$

THE VARIANCE - 8.649E-03

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$(-2.956E-03) + (6.855E+00)X + (6.786E+00)X^2 + (-1.218E+01)X^3$$

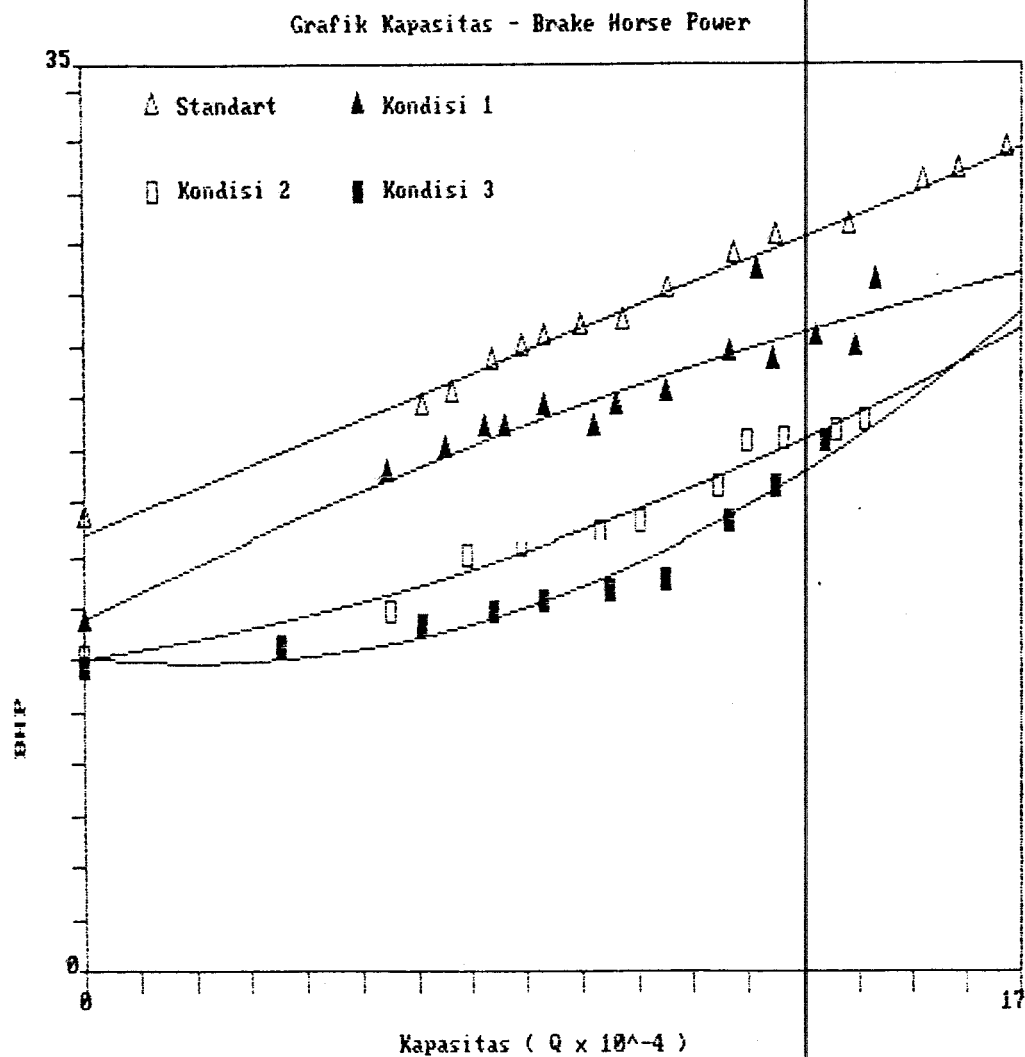
THE VARIANCE - 1.196E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 4 -

$$(-5.778E-03) + (6.193E+00)X + (6.115E+00)X^2 + (-1.175E+01)X^3$$

THE VARIANCE - 1.950E-03

Gambar 4 Grafik Kapasitas - BHP



THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 1 -

$$(1.675E+01) + (1.524E+01)X + (-2.337E-01)X^2$$

THE VARIANCE - 9.795E-02

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 2 -

$$(1.357E+01) + (1.796E+01)X + (-4.645E+00)X^2$$

THE VARIANCE - 9.549E-01

THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 3 -

$$(1.204E+01) + (5.419E+00)X + (7.284E+00)X^2$$

THE VARIANCE - 2.249E-01

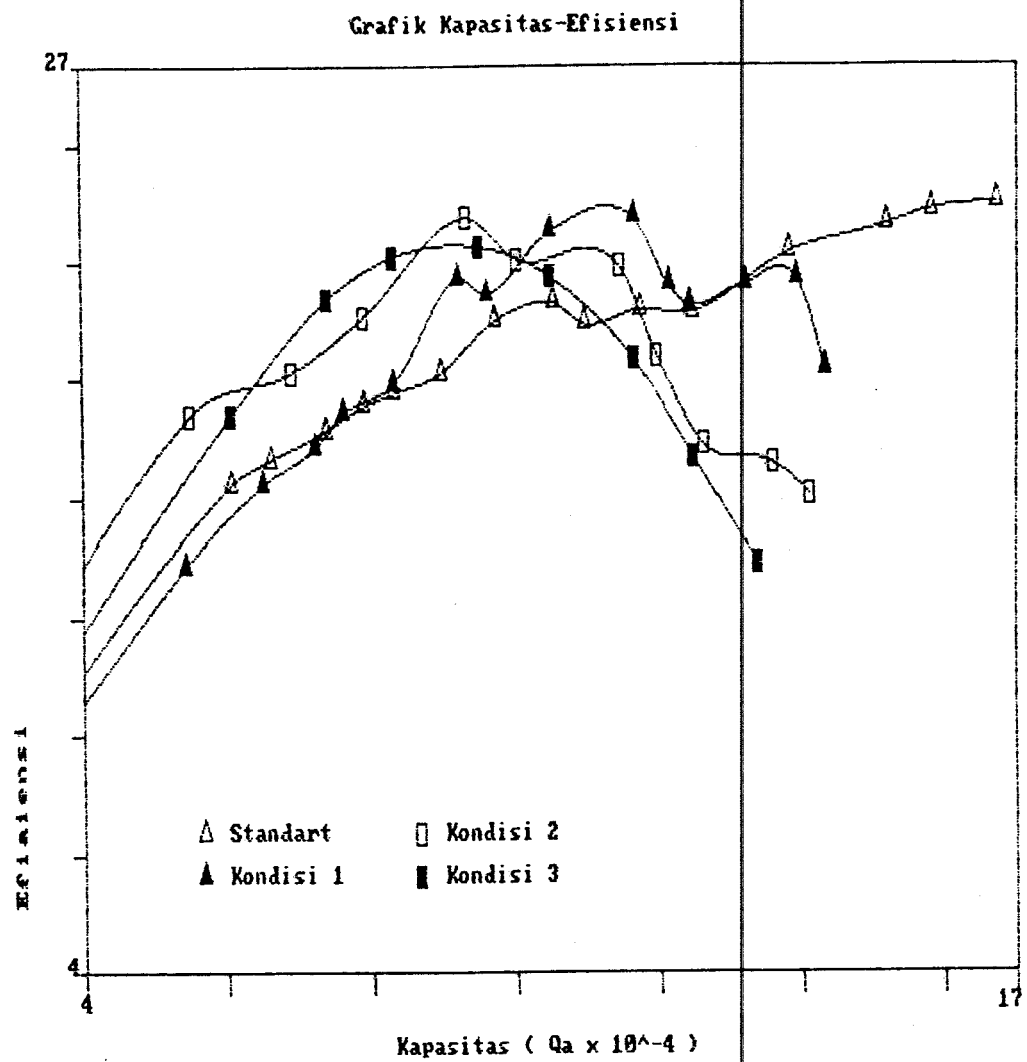
THE REGRESSION POLYNOMIAL OF LINE 4 -

$$(1.210E+01) + (-3.981E+00)X + (1.729E+01)X^2$$

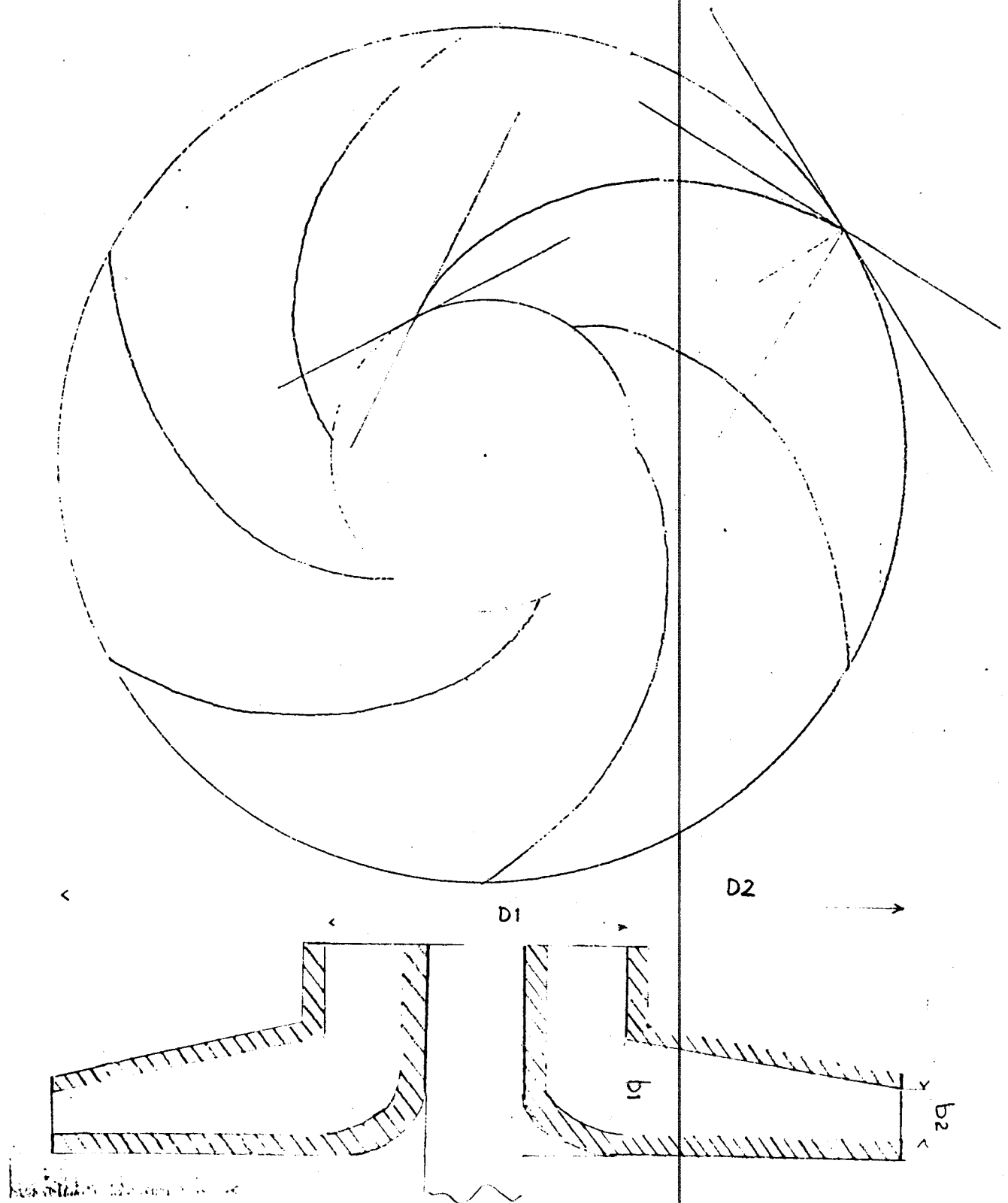
THE VARIANCE - 2.765E-01



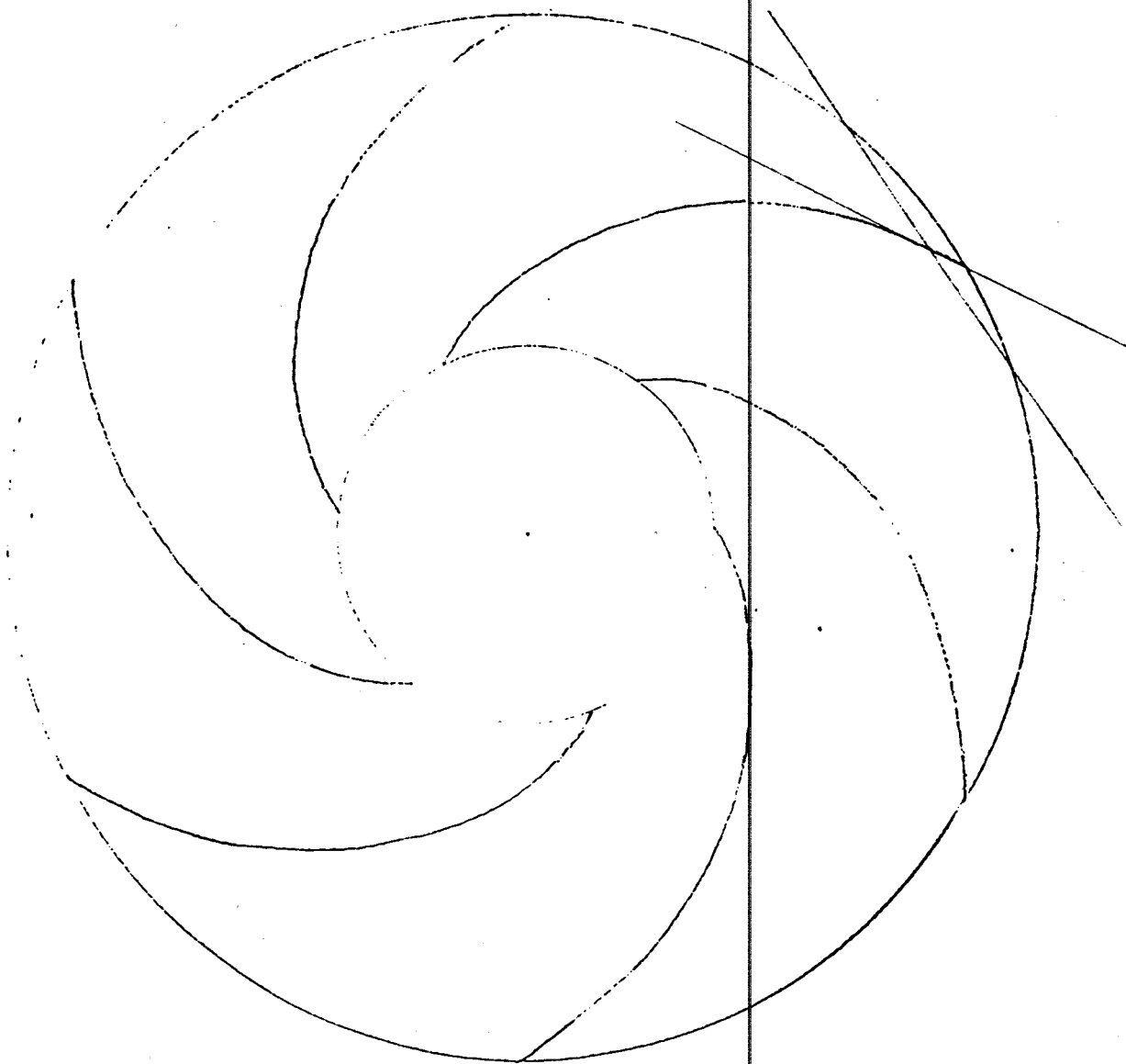
Gambar 5 Grafik Kapasitas - Efisiensi



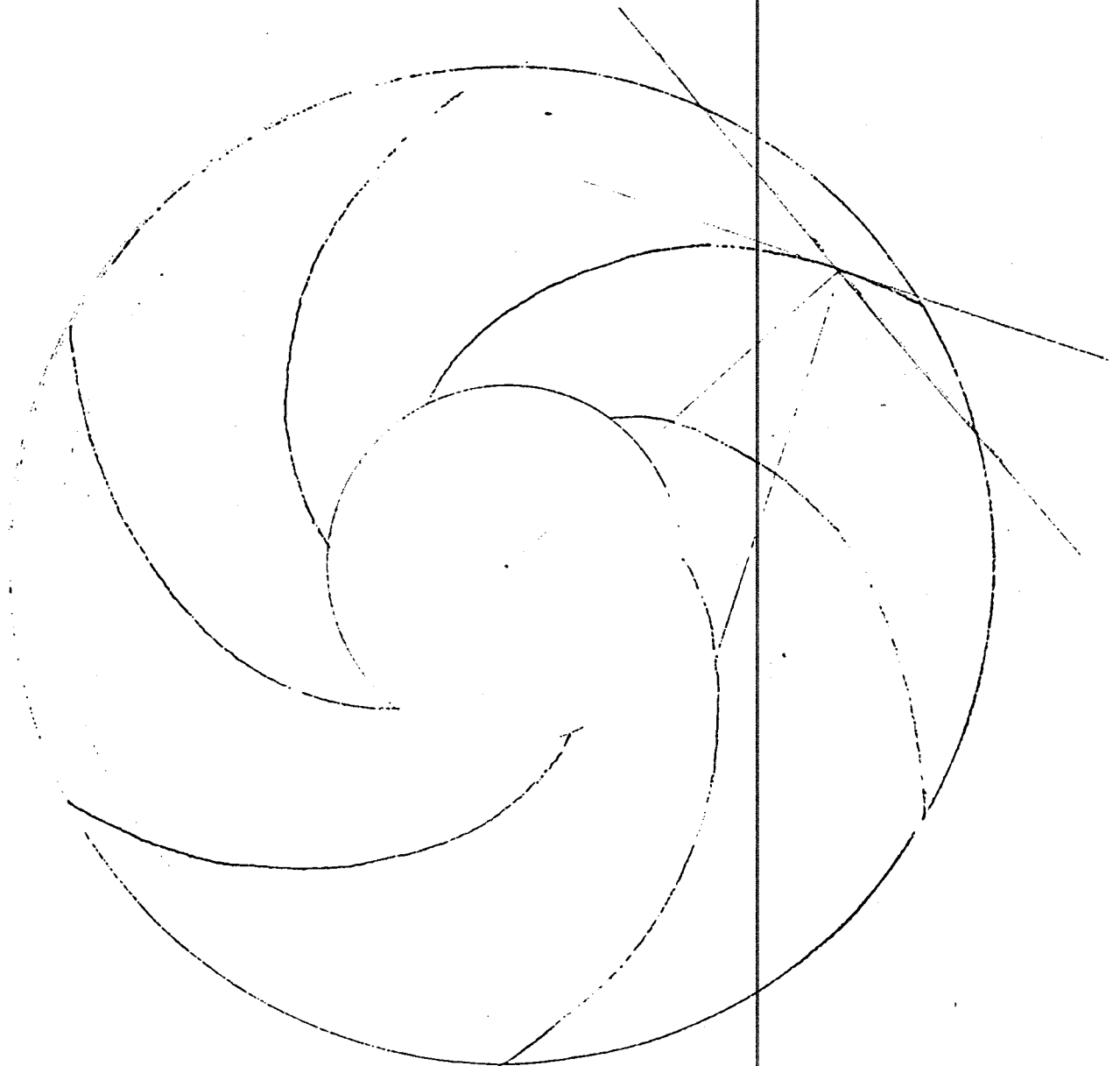
Gambar 6. Pengukuran Impeller Kondisi Standart



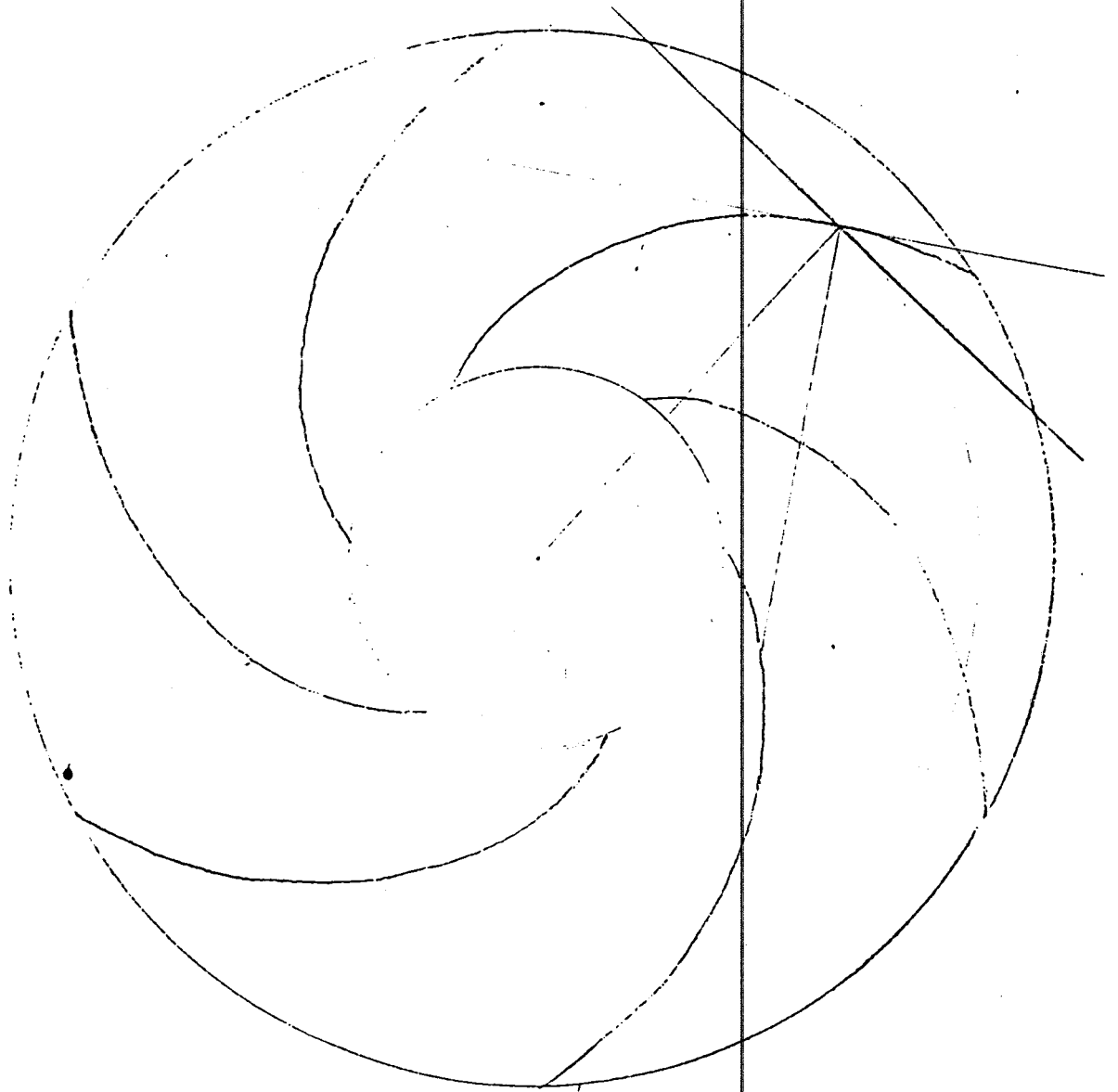
Gambar 7. Pengukuran Impeller Kondisi 1



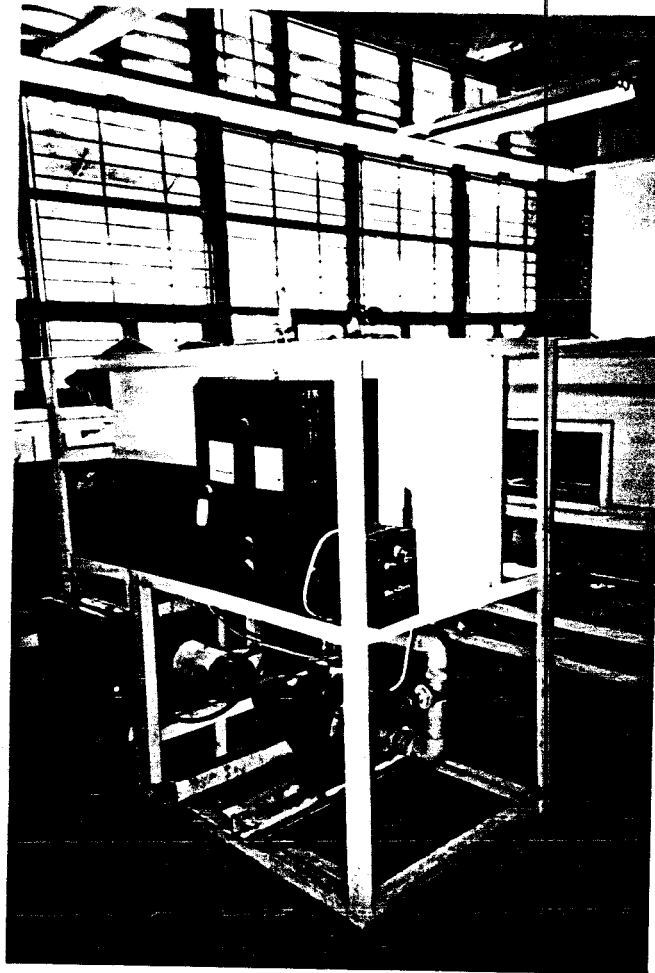
Gambar 8. Pengukuran Impeller Kondisi 2



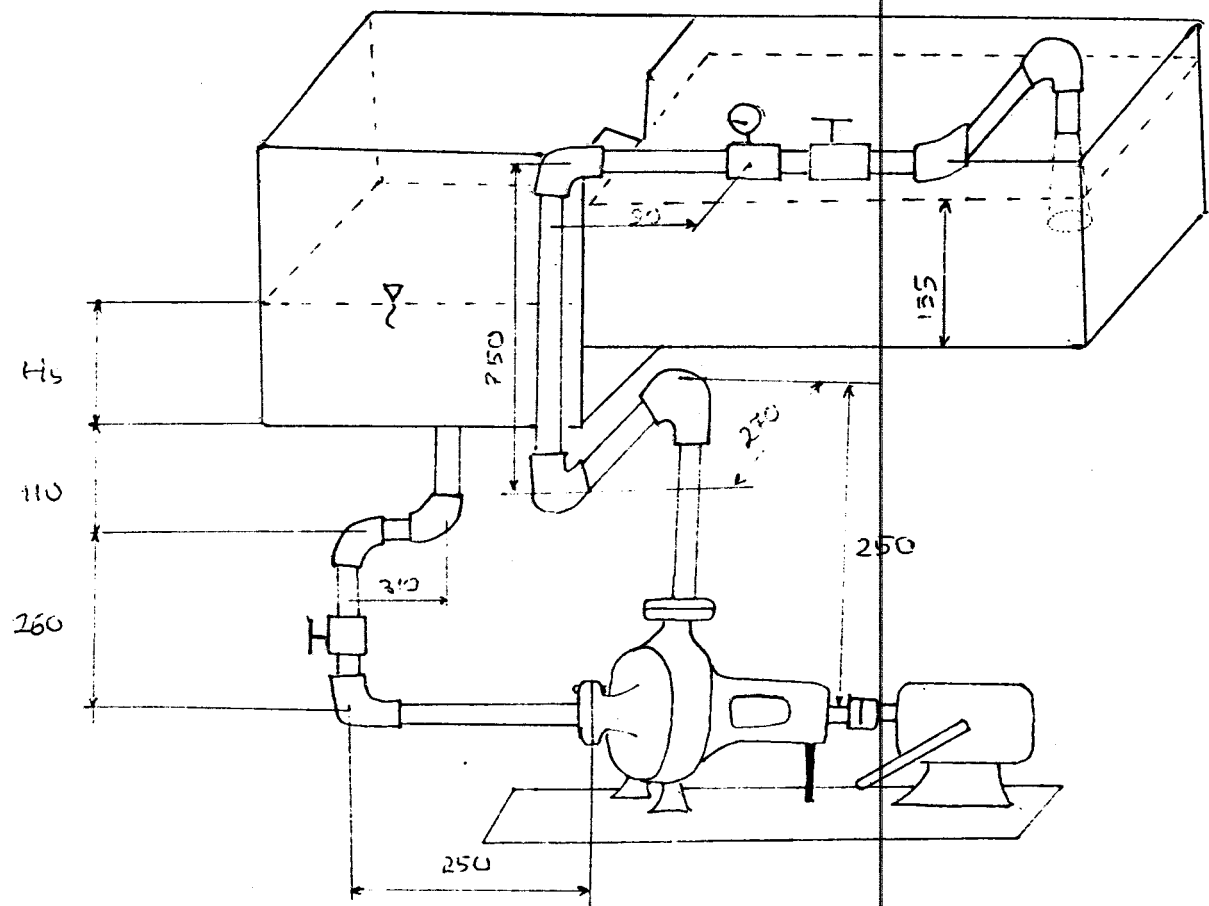
Gambar 9. Pengukuran Impeller Kondisi 3



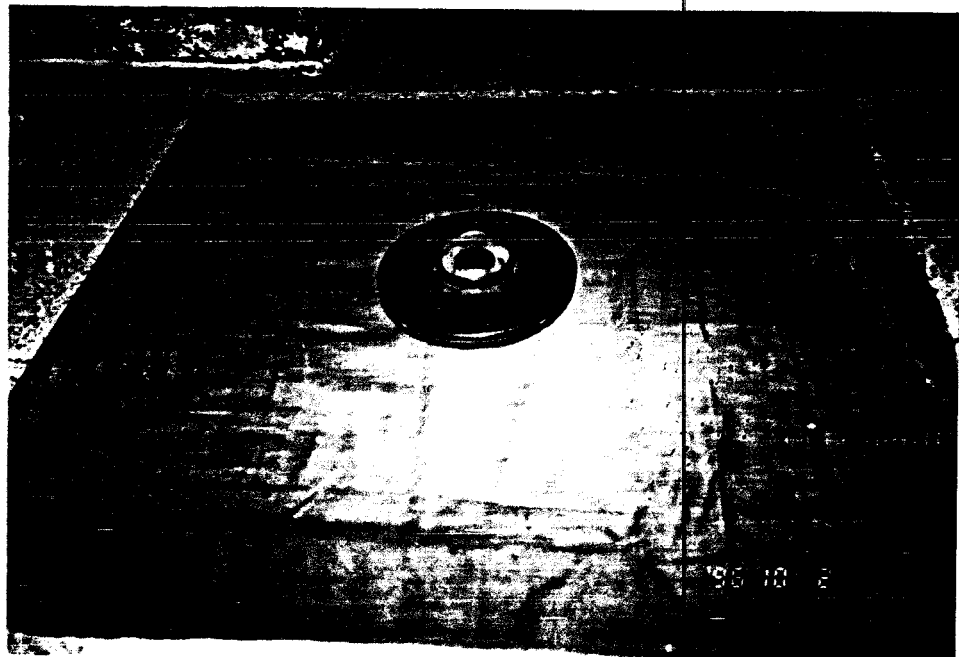
Gambar 10. Photo Instalasi Pompa Sentrifugal



**Gambar 11. Instalasi Pompa Sentrifugal**



Gambar 12. Impeller Pompa Sentrifugal





Gambar 13. Pembangkitan Head Teoritis

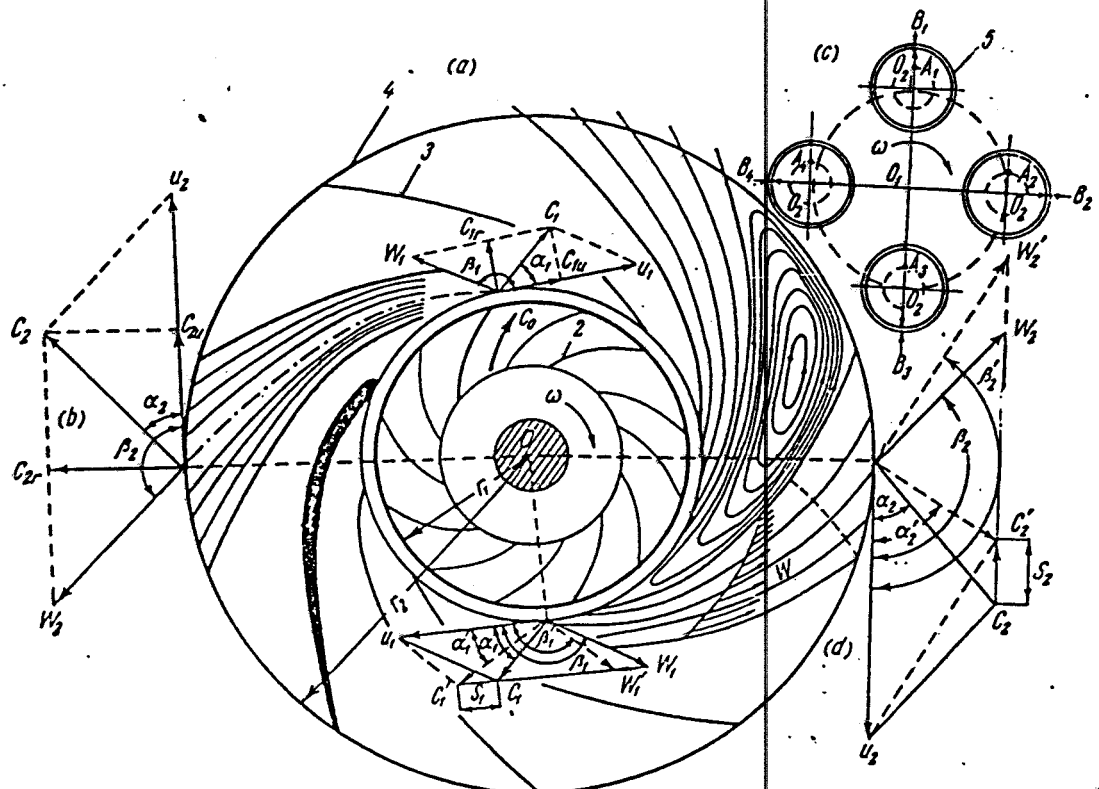
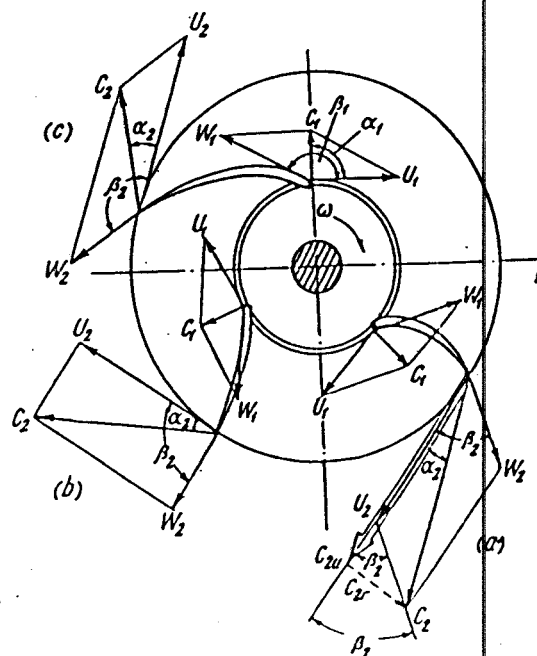


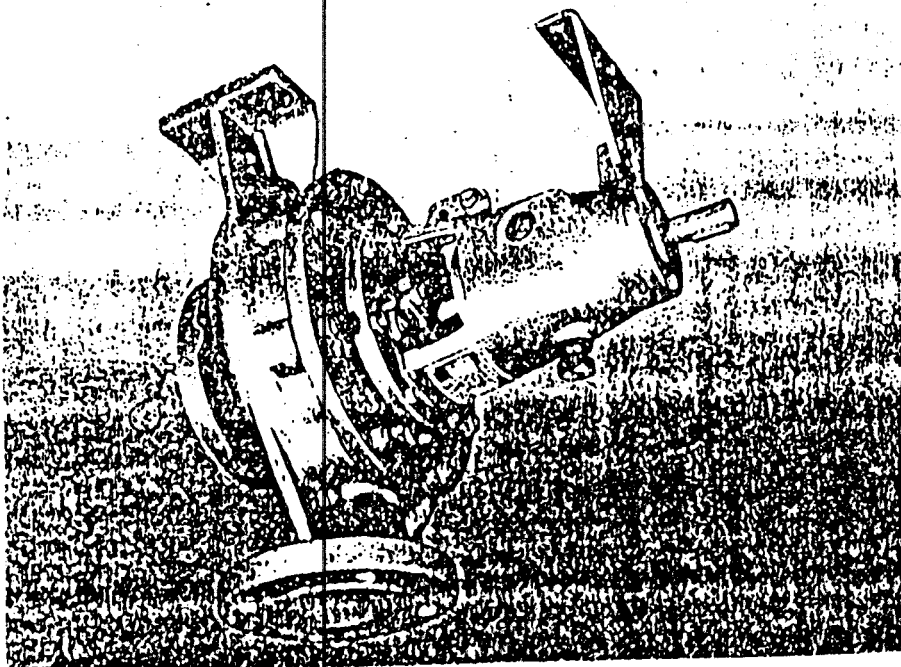
Fig. 112.



Gambar 14. Pompa Sentrifugal dan Data

Jenis Impeller yang digunakan

dalam penelitian



Model	Model	Q (l/s)	m³/hr	Capacity (m³/hr)	Total Head (m)	Speed (rpm)	Power (kW)		Efficiency (%)
							Input	Output	
KA 37/10	KA 37/10	6.0 - 11	20.7 - 40.3	20.7 - 40.3	31.6 - 75.3	1450	0.55 - 0.40	0.55	41.30 - 51.2
KA 32/20	KA 32/20	6.0 - 11.0	20.7 - 42.7	20.7 - 42.7	16.9 - 11.05	1450	0.50 - 0.35	0.50	30.1 - 44.3
KA 40/13	KA 40/13	7 - 15	25.7 - 49.5	25.7 - 49.5	25 - 10.1	1450	0.73 - 2.56	0.73	30.1 - 44.3
KA 40/18	KA 40/18	8 - 18	33 - 69.7	33 - 69.7	16.9 - 11.05	1450	0.50 - 0.35	0.50	30.1 - 44.3
KA 40/20	KA 40/20	8.5 - 18	31.2 - 66	31.2 - 66	16.9 - 11.05	1450	0.50 - 0.35	0.50	30.1 - 44.3
KA 40/28	KA 40/28	10.8 - 23.8	39.0 - 87.3	39.0 - 87.3	24.1 - 12.4	1450	1.05 - 2.7	1.05	30.1 - 44.3
KA 60/13	KA 60/13	14.4 - 36	52.8 - 132	52.8 - 132	6.5 - 4.9	1450	0.46 - 0.76	0.46	55.4 - 74.9
KA 60/18	KA 60/18	16.6 - 39.6	71.6 - 144.0	71.6 - 144.0	10.3 - 8.1	1450	0.97 - 1.37	0.97	55.4 - 74.9
KA 60/20	KA 60/20	16.6 - 42	53 - 154	53 - 154	10.7 - 10	1450	1.07 - 2	1.07	55.4 - 74.9
KA 60/28	KA 60/28	20 - 38	73.3 - 130.3	73.3 - 130.3	25.2 - 20.6	1450	1.77 - 2	1.77	55.4 - 74.9
KA 66/13	KA 66/13	30.6 - 67.6	111.8 - 210.8	111.8 - 210.8	6.6 - 4.9	1450	2.0 - 3.66	2.0	59.3 - 60.3
KA 66/18	KA 66/18	31 - 72	111.8 - 254.6	111.8 - 254.6	10.3 - 7.6	1450	2.05 - 3.73	2.05	59.3 - 60.3
KA 66/20	KA 66/20	30.6 - 72	91.7 - 264	91.7 - 264	10.7 - 12.0	1450	2.05 - 3.73	2.05	59.3 - 60.3
KA 66/28	KA 66/28	39 - 79.2	106.3 - 290.3	106.3 - 290.3	25 - 19.7	1450	3.5 - 5.9	3.5	59.3 - 60.3
KA 66/32	KA 66/32	35 - 83	91.7 - 304.3	91.7 - 304.3	38 - 27	1450	3.5 - 5.9	3.5	59.3 - 60.3
KA 80/10	KA 80/10	36 - 101	132 - 370.3	132 - 370.3	10.3 - 7.2	1450	3.5 - 5.9	3.5	59.3 - 60.3
KA 80/20	KA 80/20	40 - 123	142 - 450.3	142 - 450.3	10 - 11.8	1450	3.5 - 5.9	3.5	59.3 - 60.3
KA 100/20	KA 100/20	50 - 106	170 - 359.3	170 - 359.3	21.0 - 19.8	1450	4.0 - 6.6	4.0	59.3 - 60.3
KA 100/28	KA 100/28	52 - 119	180 - 389.3	180 - 389.3	24.0 - 13.4	1450	4.0 - 6.6	4.0	59.3 - 60.3
KA 100/30	KA 100/30	52 - 121	19 - 400.2	19 - 400.2	24.0 - 10	1450	4.0 - 6.6	4.0	59.3 - 60.3